

TARTU ÜLIKOOL
LOODUS- JA TÄPPISTEADUSTE VALDKOND

Ökoloogia ja maateaduste instituut

Geoloogia osakond

**Devoni ladestu liigestus Eestis vertebraatide kvantitatiivse
biostratigraafia alustel**

Magistritöö (30 EAP)

Tavo Ani

Juhendaja: prof. Tõnu Meidla

Kaitsmisele lubatud

Juhendaja

allkiri, kuupäev

Tartu 2016

Devoni ladestu liigestus Eestis vertebraatide kvantitatiivse biostratigraafia alustel

Eesti Devoni ladestu uuringutel on määratud mitmed kronostratigraafilised üksused, toetudes väheste tsonaalsete fossiilide leidudele ja laiendades neid tunnuseid kogu litostratigraafilistele üksustele. Nõnda tekib olukord, kus kivimi tüüp näib olevat otseselt seotud kindla tekkeajaga, olukorras, kus see nii ei pruugi olla. Sellest tulenevalt ei ole Eesti Devoni stratigraafiline liigestus heas kooskõlas Rahvusvahelise stratigraafilise juhiseiga.

Antud töö eesmärgiks oli uurida võimalusi Eesti Devoni ladestu liigestuse täpsustamiseks vertebraatide kvantitatiivse biostratigraafia alustel. Selleks loodi ulatuslik andmebaas, kuhu koguti kirjeid suuremahulistest andmebaasidest ja erialasest kirjandusest. Andmete kogumisele järgnes andmete töötlus deterministlikul algoritmil põhineva CONOP9 tarkvaraga. Kokku käsitleti töös üheksat erineva andmebaasi põhinevat töötlust ning teostati konflikti analüüs, võrreldes tulemusi geoloogiliste andmebaaside andmestikuga. Kogutud 3700 kirjest osutus sobilikuks 510. Andmetes käsitleti toetavalt tsonaalsetest taksonitest koosnevat tehiskliku läbilõiget, et luua sidusust tsonaalsete taksonite levikupildis. Pärast andmete kontrolli ilmnas, et tulemustes kajastuv liikide levikupilt ühtib veidi rohkemal kui 50% geoloogilistes andmebaasides kajastatuga.

Leiukohtade andmete täiendaval kontrollil tekkis kahtlus, et tarkvaralahendus polnud suuteline tekitama osade samasse üksusesse kuuluma pidava leiukoha, või taksoni vahel head korrelatsiooni, ning töötlus jagas need kaheks, millest ühe osaga kirjeldati reaalselt kronostratigraafilist järgnevust ning teine pool üksustest “peegeldas” antud sündmusi kõrgematest lademetest. Peegelduses osalenud leiukohad olid taksonoomiliselt vaesed. enamasti leidsid neis vaid üks takson. “Peegelduspinna” määras ära kindel, tundmatu sündmustase mudelis, mille läbi olid ühendatud reaalseid geoloogilisi tasemeid kirjeldavad andmed ja peegelduvad andmed.

Töötluste tulemused korreleerusid hästi globaalsete leviku standarditega, näitamaks globaalseid biodiversiteedi muutuseid lõuatute, rüükalade ja akantoodide klassides. Globaalsest standardist erinesid andmed aga mitu korda suurema diversiteedi poolest akantoodide klassis. Lisaks esines ka tulemustes suurem mitmekesisuse tase kohalikes Burtneki ja Aruküla lademetes, mis on seletatav nende hea uurituse tasemega.

Kuigi tulemused näitavad head korrelatsiooni globaalsete mitmekesisuse trendidega, on kogutud andmete hulk liialt väike ja andmeid pole võimalik 100% omavahel siduma saada. Loomaks uusi järeldusi Devoni ladestu siseliigestusest, peab lisanduma täiendavaid, hea lahutusvõimega andmeid hästi uuritud puursüdamike ja leiukohtade kujul.

Stratigraafia, Devoni ladestu, vertebraadid, Eesti, kvantitatiivne biostratigraafia

P450 – Stratigraafia

Sequencing Devonian System of Estonia using vertebrates with quantitative biostratigraphy methods

In Estonian Devonian System many chronostratigraphical units have been assigned relying on data of a few zonal fossils. Usually these characteristics are then applied to a whole lithostratigraphic unit, which means that our interpretation of this chronostratigraphical unit is based on a doubtful data. This sort of behaviour is not in good relations with International Stratigraphic Guide.

The aim of this work is to find new ways to study distribution of Devonian System in Estonia based on quantitative biostratigraphy of vertebrate fossils. During the first phase it was necessary to compile large dataset of Devonian fossils and localities. Data was gathered from paleontological databases and from different works of paleontology and stratigraphy. Gathered dataset consisted of about 3700 records, but only 510 of them were usable in later work. To create a good correlation for CONOP9 based study, additional information was added to the dataset in form of „zonal taxon intervals“. After the simulations and inspections the results showed only about 50% correlation between the results and known part of geological databases.

During the chronostratigraphical data inspection of localities it seemed that the CONOP9 hadn't been able to create adequate correlation between different units, so the simulation split them into two differently behaving groups. The first group acted as it supposed, giving stratigraphical climb of groups from Lower Devonian to Middle Devonian. The other group, that supposed to do the same, acted opposite, giving climb from Upper-Devonian to Middle Devonian, mirroring the climb of the first group. Supposedly the second

group was loosely tied to the first group but only from the face of „mirroring surface“ that was determined by single event binding two groups together. Almost all great errors were explainable with this phenomenon.

The overall results correlated well with global biodiversity standards, showing once-been trends of acanthodian, placoderm and agnathan trends during Devonian Period. Results differed from the global standards in two ways. Firstly, compared by agnathan and placoderm, the biodiversity of acanthodians was multiple times the size as global standard would show. Secondly, the biodiversity of agnathan and placoderm groups multiplied exceptionally for a short time period in Givet Stage, which could be simply explained by the extensive studies of local outcrops.

Although the results show good correlation with global biodiversity standard, the amount of data isn't big enough to get 100% correlation in simulations. To make new conclusions about Devonian System of Estonia, more data is needed in form of well investigated drillcores and outcrops.

Stratigraphy, Devonian System, Vertebrates, Estonia, Quantitative biostratigraphy

P450 – Stratigraphy

Sisukord

1.	Sissejuhatus.....	7
2.	Kvantitatiiv-biostratigraafilised meetodid	8
2.1.	Graafilise korrelatsiooni meetod	9
2.2.	Deterministlikud meetodid	9
2.3.	Tõenäosusliku stratigraafia meetodid	10
3.4	Käesoleva töö metoodika.	10
3.	Geoloogiline taust	11
3.1.	Devoni ladestu Läänemere idakaldail.....	11
3.2.	Balti riikide ja naaberalade Devoni ajastu kalade fauna uuritus	12
3.3.	Eesti piirkonnas esinevad Devoni ajastu kalad.....	13
3.3.1.	Lõuatud.....	13
3.3.2.	Lõugsuused (Gnasthostomata)	14
4.	Andmete eeltöötlus.....	18
4.1.	Andmete kogumine ja ettevalmistamine	18
4.2.	Leiukohtade iseloomustus	21
5.	CONOP töötlusted.....	23
5.1.	Töötlusted erinevate andmehulkadega	24
5.2.	Täiendavad töötlusted	26
5.3.	Andmete ja töötluste problemaatilised aspektid	27
5.4.	Andmete ja töötluste problemaatilised aspektid	27
6.	Tulemused	29
6.1.	Liikide leviku intervallid	29
6.2.	Paljandite geoloogiline vanus ja määrangute täpsus	34
6.3.	Bioloogilise mitmekesisuse uuringud.....	35
7.	Arutelu.....	39
8.	Kokkuvõte	41

Akronüümid	43
Kasutatud kirjandus	44
Lisad:	48

1. Sissejuhatus

Eesti piirkonna Devoni ladestu uuringutel on paratamatult määratletud kronostratigraafilisi üksusi tuginedes mõnele väheste tsonaalsete fossiilide leidudele ning mõtteliselt laiendades seda kogu litostratigraafilisele üksusele. Tulemuseks on fossiilsete liikide „eksisteerimise ajaakna (Prothero, 2013) tehislik suurendamine tervele stratigraafilisele üksusele. Lisaks veel tekitatakse näiv olukord, kus kivimi tüüp on otseselt kasutatav kronostratigraafilise üksuse määratlemisel või leidmisel. Selline käsitus tähendab üldjuhul, et pole isegi proovitud uurida liigi tegelikku levikuintervalli ning see vähendab omakorda liigestuste stratigraafilist lashutusvõimet.

Sellest kõigest tulenevalt ei ole Eesti Devoni stratigraafiline liigestus heas kooskõlas Rahvusvahelise stratigraafia juhiseiga (Murphy & Salvador, 2000, tõlk. Rubel). Paleontoloogilised leiud on napid ning nende kasutamine bio- ja kronostratigraafilise liigestuse seisukohast on keeruline.

Devoni lademete korrelatsioon aset (Mark-Kurik & Pöldvere, 2011) naaberriikide territooriumitel kannatab osaliselt samade probleemide all, eelkõige Loode-Venemaa, Eesti, Läti, Leedu ja Valgevene Devoni kronostratigraafiliste piiride korrelatsioon ei ole ühemõtteline. See mõjustab loomulikult ka nende piirkondade vahelise korrelatsiooni kvaliteeti.

Töö üldiseks eesmärgiks on uurida võimalusi Devoni ladestu korrelatsiooni täpsustamiseks kvantitatiivstratigraafiliste meetoditega ning selleks vajaliku eksperimentaalse kvantitatiivstratigraafilise liigestustandardi väljatöötamine ja selle kasutamisevõimaluste uurimine.

Konkreetsed eesmärgid:

- luua andmebaasidest ja kirjandusest kogutud allikate põhjal andmebaas Devoni vertebraatide leidudest
- kasutades tarkvaralisi lahendusi, luua eksperimentaalne liigestusstandard Devoni lademete kohta Devoni kalade leviku põhjal
- hinnata tulemuse kvaliteeti, viies läbi konfliktotsingu liigestusstandardis tuginedes stratigraafilistele skeemidele

- kirjeldada loodud liigestusstandardi põhjal vertebraatide põhirühmade mitmekesisust ja selle muutusi ajas

Et antud töö oleks edukas, peab loodav andmestik olema mahukas. Seetõttu peab kasutatav meetodika samuti olema suuteline haldama suuri andmehulkasid. Selleks on võimalik kasutada kvantitatiivse stratigraafia meetodeid.

2. Kvantitatiiv-biostratigraafilised meetodid

Kvantitatiivne biostratigraafia (Prothero, 2013) sai alguse 1964. aastal, Alan Shaw raamatu „Time in Stratigraphy“ esimese trükiga. Tegemist oli graafilise korrelatsiooni meetodiga, mille abil on võimalik võrrelda kahe esineva läbilõike taksonite levikuintervalle. 1972. aastal töötati välja tõenäosuslik stratigraafiline meetod (Edwards, 1982), mis lubas suuri andmehulkasid töödelda statistilistel meetoditel. 1975. aastal kohandati selle algoritmid ja statistilised väärtused ümber. Aastal 1976 käivitati International Geological Correlation Program (IGCP) projekt nr. 148 (Lemon, 1990). See pidi kestma viis aastat ja selle eesmärk oli hinnata ja arendada kvantitatiivse korrelatsiooni tehnikaid, et lahendada biostratigraafilisi probleeme uuel meetodil. Projekti pikendati hiljem seitsmele aastale ning tulemusena pakkus see lahendusi laiale valikule stratigraafilistele teemadele. Selle toimumise ajal, 1977. aastal tutvustati maailmale seoselise e. relatsioonilise stratigraafia meetodit (Edwards, 1982), mis lõpliku vormi võttis aastaks 1987.

Tänapäeval jagatakse kvantitatiivse biostratigraafilised meetodid kaheks: deterministlikud meetodid ja tõenäosuslikud meetodid. Mõlema puhul on toimunud palju metodoloogilisi kui ka tarkvaralisi arendusi andmete töötlemises. Kvantitatiivse stratigraafiaga tegelemist Eestis alustati 1980-ndatel, algatajaks oli Tartu Ülikooli professor Madis Rubel (Puura & Tinn, 2012). Oma töödes arendas ta koos kolleegidega välja deterministliku algoritmi DISTR ja kasutas hiljem ka graafilise korrelatsiooni tarkvara CONOP.

2.1. Graafilise korrelatsiooni meetod

Populaarseim on Alan Shaw'i graafiline korrelatsiooni meetod (Gradstein, 2004), mis põhineb muutujate omavahelisel korreleerimisel ja nende kuvamisel graafikul, ristkoordinaadistikus, kus andmed moodustavad korrelatsiooni pideva joone erinevate geoloogiliste läbilõigete vahel, milles taksoni esinemistsooni algpunkt ja lõpppunkt tähistavad mingit stratigraafilist lõiku. Shaw meetodi puhul on see üks tähtsamaid aspekte. Sirge, 45 kraadne kesendatud korrelatsioonijoon kahe geoloogilise tulba vahelise seose peegeldusena näitab ideaalset korrelatsiooni, joone kõverdumine ja horisontaalne või vertikaalne kaldumine aga settimiskiiruste erinevusi ja lünkade esinemist. Tegemist on hea meetodiga selgitamaks välja erinevat sette akumulatsioonikiirust ja lünkasid.

Kvantitatiivsete stratigraafilise korrelatsiooni tehnikad võimaldavad korreleerida suurt hulka geoloogilisi tulpasid samaaegselt. Soovituslik on alustada kahest läbilõikest, mis kajastavad/esindavad uuritavat ala kõige paremini. Seejärel lisada süsteemile täiendavaid läbilõikeid. Tulemuseks on süntees kesendatud tulemustest, mis lubab kaardil kuvada erinevate taksonite tsoonide keskmistatud levikut. Skaala ühikuteks pole mitte stratigraafiliste üksuste paksused, vaid abstraktsed geoloogilise aja ühikud. Tulemusena saab joondada ja korreleerida üksusi täpsemalt, kui seda võimaldaksid litoloogilised või biostratigraafilised üksused ning nende traditsiooniline kasutusviis.

2.2. Deterministlikud meetodid

Deterministliku ehk seoselise (Gradstein, 2004) stratigraafilise meetodi eesmärgiks on korreleerida läbilõikeid liikidevaheliste seoste range korrastamise kaudu. Selle rakendamisel lähtutakse vaid taksonitest, mis esinevad enam kui ühes uuritavas läbilõikes ehk läbilõigete ühisosast. Kõrvale jäetakse taksonid, millel võrreldavate läbilõigete vahel ühisosa puudub või mis tingivad suure hulga vastuolude tekke mudelis. Sel meetodil on võimalik luua laiade geograafiliste alade piires kasutatav biokronoloogiline skaala. Tihti on raske tõestada selle meetodi biokronoloogilist väärtust, kuid reaalsuses on võimalik sel viisil kasutada ka näiliselt väärtusetuid ühistunnuseid läbilõigetes.

2.3. Tõenäosusliku stratigraafia meetodid

Tõenäosusliku stratigraafia meetodit (Gradstein, 2004) kasutati alguses nannofossiilide ja bentiliste foraminifeeride puhul. Selle eesmärk on anda keskmistatud vahemike tabelid, pannes sündmused jadadesse. Selleks võrreldakse kahekaupa biostratigraafiliste sündmuste suhtelisi asukohti ning hinnatakse nende tõenäosusi. Igal konkreetsel juhtumil on tõenäolisem tulemus määrav. Meetodi puhul on nõutud, et taksoni ülemine ja alumine esinemispiir varieeruksid üldise keskmise ülemise ja alumise piiri suhtes. Tõenäosuslik stratigraafia on sobilik meetod juhtudel, kus andmestruktuur on keeruline ja korrelatsioonivariante mitmeid. Sel puhul otsitakse kõige tõenäolisemat biostratigraafilise sündmuse järjestust normaaljaotusele tuginedes. Kivististe ümbersettime ja andmeallikate saastumine võõra materjaliga on võimalikud ja neid võib käsitleda kui andmetes esinevat juhuslikku müra. Võrreldes graafilise ja seoselise meetodiga ei suuda tõenäosuslik meetod samaaegselt kindlaks määrata täpset esinemistsooni ülemist ja alumist piiri, mistõttu on sobilik kasutada neist vaid ühte. Meetod põhineb tunnuste suhtelistel asendil, mistõttu on see rakendatav ka setete puhul, mis kajastavad protsesside kiiruste ja tingimuste suuri muutusi ning kus proovid asuvad üksteisest suurtes kaugustes. Samuti saab kaasata mittebiostratigraafilisi markerkihte, näiteks bentoniitide kihte või muid markertasemeid. Et meetodi tulemused vilja kannaks, on selle meetodi töötamise jaoks tarvis piisavat hulka stratigraafilisi läbilõikeid.

3.4 Käesoleva töö metoodika.

Järgnevas töös lähtutakse deterministlikust metoodikast, täpsemalt CONOP (Constrained optimization) algortimil töötavast CONOP9 tarkvara töötlustest.

Kasutades CONOP algoritmil põhinevaid töötlusi on vajalik, et iga töötluses esineva taksoni kohta oleks registreeritud esinemisi vähemalt kahes lokaliteedis. Sellele tingimusele vastava andmekogu saamiseks tuli algandmetest osa kirjeid eemaldada. Saamaks rahuldavaid tulemusi, soovivad programmi autorid leiukohtade ja taksonite suhet vähemalt 1:3 (Sadler, 2002). Antud töös ei olnud võimalik sellest kinni pidada, algandmetes (Tabel 1) on 106 taksonit ja 166 leiukohta. Lisaks puuduvad Devonil läbilõikes ka head markertasemed, mida oleks võimalik kasutada korrelatsiooni toetamiseks.

Läbi viidi töötused erinevate Balti piirkonna fossiilse fauna leidude levikut kujutavate andmehulkadega. Töödeldud andmete põhjal analüüsiti Devoni vertebraatide levikut ning hinnati tulemuste adekvaatsust, viies läbi konfliktitsingu, tuginedes senistele teadmistele Devoni ladestu liigestusest. Loomaks toetavat andmestikku Devoni stratigraafilise liigestuse rangemaks järgimiseks (Lisad 2a ja 2b) loodi andmetesse tehislik läbilõige, mis sisaldab tsonaalseid taksoneid nende ilmunise ja kadumise järjekorras. Nende näol on tegu taksonitega, mille levikuintervallid peaksid olema piisavalt hästi dokumenteeritud (Lisa 2a & 2b) ning mille esmailmunise või kadumise tasemeid seostatakse stratigraafilises liigestuse kindlate kronostratigraafiliste üksuste piiridega. selliste andmete lisamine on meetod, mida rakendatakse selleks, et parandada tulemuste tõlgendatavust. Lisaks muudab see võimalikuks ka nende tsonaalsete taksonite kasutamise töötluses, mille kohta andmebaasis on vaid üks kirje.

3. Geoloogiline taust

3.1. Devoni ladestu Läänemere idakaldail

Devoni settekivimid (Mark-Kurik & Pöldvere 2011) moodustavad Eesti aluspõhjas märkimisväärse osa settekivimitest, ehkki nende leviala kaardipildis piirdub Eesti kirde-, kesk- ja lõunapoolse osaga. Ajastu algas ja lõppes kulutusega. Seetõttu Alam-Devoni ja Ülem-Devoni lademed peaaegu et puuduvad, kui välja arvata Alam-Devoni setendid, mis on teada Lõuna-Eesti puursüdamikest ning Ülem-Devoni kõige vanemad lademed Kagu-Eesti piirkonnas. See eest Kesk-Devoni setted (Eifeli ja Givet') moodustavad suhteliselt täieliku (ehkki arvukate väiksemate lünkadega) läbilõike ning levivad Eestis kõige laiemal territooriumil.

Eesti ala kujutas endast järk-järgult merelise basseini rannalähedast ala, millesse kandusid Kaledoniidide purdsetted, mis osaliselt ladestusid rannikulähedastes meredes, kuid osalt ka jõgedes, deltades ja järvedes. Devoni setendite leviala haarab peamiselt Lõuna-Eesti (Lisa 1), kus setendid levivad väikese lõunasuunalise akallakusega, ulatudes ida suunas Peipsi järve ja idapiirini. Tänu suurele hulgale looduslikele paljanditele, karjääridele ja puursüdamikele, on Devoni ladestu Eestis hästi uuritud. Devonis domineerivad purdkivimid, kui välja arvata Kesk-Devoni alumine osa (Narva lade) ning Ülem-Devon (Plavinase, Daugava

ja Dubniki lade), mis koosnevad peamiselt karbonaatsetest ja terrigeen-karbonaatsetest kivimitest.

Tänapäevased korrelatsioonid ja teadmised Devoni lademetest põhinevad peamiselt Bekkeri, Orviku, Grossi, Orbuchevi ja Bölau andmetel, mis pärinevad 20. sajandi 30-40-ndatest (Raukas & Teedumäe, 1997) ning neid täpsustavatel geoloogilise kaardistamise tulemustel (Mark-Kurik & Põldvere, 2012). Võimalikust Kemberi lademest (Lisa 2) pole Eestis leitud ühtki fossiili, mis teeb küsitavaks selle lademe esinemise Eestis üldse ning muudab ka läbilõigete korrelatsiooni kontrollimise keeruliseks. Rezekne lademe probleem on selle asend rahvusvahelise liigestuse suhtes (Mark-Kurik & Põldvere, 2011): Rezekne võib olla Eifeli globaalse lademe ekvivalent, kuid seda saab täna oletada vaid ühes puuraugus esineva üksiku kalaleiu põhjal. Üldiselt on eestis täna antud ladet käsitletud Emsi lademesse kuuluvana.

Devoni purdsetteliste läbilõigete liigestamisel on valdavalt lähtutud kivimite litostratigraafilisest üksusest või mõnest muust tunnusest, mis ei ole seotud paleontoloogilise materjaliga. See võib potentsiaalselt viia ebatäpsuste ilmnemiseni Devoni paleobasseini tekkeloo kirjeldamisel. Viimase kümne aasta jooksul on nihutatud stratigraafilistel skeemidel erineva tekkeajaga kivimeid ühest üksusest teise ning tagasi.

Teadaolevalt pole varem Balti riikide Devoni uurimisel proovitud kasutada kvantitatiiv-stratigraafilist meetodit.

3.2. Balti riikide ja naaberalade Devoni ajastu kalade fauna uuritus

Devoni liigestamise rahvusvahelise standardi aluseks on valdavalt konodondid. Paraku Eestis leiduvatest Devoni setetest konodonte leitud pole (Mark-Kurik & Põldvere, 2012), mistõttu on kohaliku piirkonna lademetest piiritlemisel lähtutud peamiselt vertebraatide fossiilide leidudest. Lisaks on Ida-Euroopa platvormi teistes piirkondades konodontide tsoonidega korreleeritud müosporide tsoonid, mistõttu on neid võimalik kasutada täiendava korrelatsiooni alusena. Tänapäeval aksepteeritud piirkondliku Devoni liigestuse leiab E. Mark-Kuriku ja A. Põldvere 2012. aastal ilmunud artiklist (Mark-Kurik & Põldvere, 2012). 2006. aastal valmis A. Põldvere ja E. Mark-Kuriku koostööl Eesti Stratigraafilise Komisjoniga Devoni stratigraafilise skeemi (Lisa 2) uuendatud versiooni mustand. Piirkondlikus stratigraafias on olulisel kohal viis biotsooni (Lisa 2a), millest kolm on kalade tsoonid: lõuatud (Agnatha), rüükalad (Placodermi),

akantoodid (*Acanthodi*). Hetkel on veel puudulik Eesti Frasnese ja Famenne lademetest liigestamine (Mark-Kurik & Põldvere, 2012), mistõttu neid üksusi stratigraafilises tabelis ei kuvata. Eestis leitavad Devoni ajastu kalade fossiilid pärinevad valdavalt Kesk-Devonist. Alates Gauja east hakkas kalade mitmekesisus Eestis vähenema.

Esimesed teaduslikud tähelepanekud Lõuna-Eesti liivakivides leiduvatele fossiilsetele hammastele ja luuplaatidele tehti 1830. aastal M. Engelhardti ja E. Ulprehti poolt (Rõõmusoks 1983). Devoni ajastu kalade fauna uurimine (Raukas & Teedumäe 1997) algas Eestis 19. sajandil. 20. sajandil avaldasid monograafilisi uurimusi Grossi poolt 1930 ja 1940-ndatel (Raukas & Teedumäe 1997), kõigi fossiilsete kalade gruppide kohta Heintz 1920-1930-ndatel, Mark-Kuriku poolt alates 1950-ndatest ja Obruchev 1960-ndatel. *Arthodira* (rüükalade selts) kohta toimusid täiendavad uurimused Karatajute-Talimaa poolt 1960-ndatel, *Antiarchi* (samuti rüükalade selts) kohta Obruchevi ja Mark-Kurik 1960-ndatel, alamklass psammosteid *heterostracans* (lõuatud) kohta, Vorobyeva 1970-ndatel vihtuimsete kohta ja *Valiukevicius* 1980-ndatel akantoodide kohta. Lisaks on veel sellel sajandil täiendatud kõhrkalade nimistut (Märss 2008; Ivanov jt 2011).

3.3. Eesti piirkonnas esinevad Devoni ajastu kalad

3.3.1. Lõuatud

Lõuatud (*Agnatha*) on eksisteerinud juba 525 miljonit aastat (Long 2011). Ordoviitsiumi lõpul toimus kiire lõuatute mitmekesistumine ning paljud neist on äratuntavad peakilbi, soomuste mustrite või mõne muu tunnuse alusel. Mitmekesisuse tipu saavutasid lõuatud Siluri ja Devoni ajastul, kuid tänapäevani vastu pidanud on vaid vähesed. Lõuatuid peetakse parafüleetiliseks rühmaks, kuna neil puuduvad selged omavahelised äratuntavad detailid.

Eestist võib leida peaaegu kõikide väljasurnud lõuatute esindajaid: telodondid (*Thelodonti*), erikilbilised (*Heterostraci*), luukilbilised (*Osteostraci*), kilbitud (*Anaspida*) (Sarv andmebaas). Sellest loendist jäävad välja galeaspiidid, keda Eesti piirkonnas pole leitud.

Lõuatute stratigraafilisel rakendamisel (Mark-Kurik & Põldvere 2011) lähtutakse peamiselt erikilbiliste (*heterostraci*) psammosteiidide tsoonidest, sest need olid tol ajal antud piirkonnas domineerivaks grupiks. Paraku väljaspool Ida-Euroopa platvormi ei ole see rühm väga levinud.

Teiseks probleemiks on see, et psammosteiidide soomuste mustri suure varieeruvuse tõttu pole võimalik nende leide tihti identifitseerida täpsemalt, kui vaid perekonna tasemel. Alam-Devoni lademetelises liigestuse on oluline erikilbilise *Phialaspis* (endine *Traquairaspis*) levikutsoon (seda on võimalik kaudselt määrata samal ajal eksiteerinud liigi *Turinia pagei* (Powrie) leidude põhjal) ja telodondi *Skamolepis fragilis* tsoon (aluseks oluline, kuid haruldane materjal puursüdamikest). Psammosteiidide makroleiud on tähtsad lademete piiritlemisel vahemikus Pärnu lademest kuni Gauja lademeni. Eifeli lademe psammosteidi *Schizosteus heterolepis* tsooni seostatakse Pärnu lademega. Perekonna *Pycnosteus* liigi *P. Palaeformis* ilmumine markeerib Aruküla lademe alumist piiri, liikide *P. tuberculatus* ja *P. pauli* tsoonid markeerivad Aruküla lademe ülemist ja Burtnieki lademe alumist piiri. Burtnieki lademe ülemist ning alumist piiri markeerib *Psammolepis abavica* tsoon ning Gauja lademe piirid on fikseeritud *Psammolepis paradoxa* esinemistsooniga.

3.3.2. Lõugsuused (Gnathostomata)

3.3.2.1. Akantoodid

Akantoodid (*Acanthodii*) olid väiksed kalad, kes ilmusid Siluris ja kadusid Permi lõpus (Long 2011). Nende mitmekesisus oli suurim Devoni ajastul. Nad jaotuvad nelja seltsi: Acanthodiformes, Clathriiformes, Diplacanthiformes ja Ischacanthiformes. Acanthodiformes asustasid meresid alates Devonist ning kadusid Permi lõpul suure väljasuremise käigus koos 90% mereliste seltsidega. Ischacanthiformes kuulusid esimeste akantoodide sekka, kes eksisteerisid Silurist Devonini. Paleosoiliste settekivimite uurimisel osutuvad nende soomused ja ogad kasulikuks suhtelise ajaarvamise kujundamisel.

Akantoodide arvukus ja mitmekesisus Eestis (Mark-Kurik & Pöldvere 2011) on väga suur ning neid leidub Alam-Devonist Ülem-Devonini. Akantoodide soomused on olulised Narva lademe siseliigestuses, kus kasutatakse *Cheiracanthoidea estonicus*, *Ptychodictyon rimosum* ja *Nostolepis kernavensis* tsoone. Givet' lademesse kuuluvate üksuste määratlemisel lähtutakse *Diplacanthus gravis*'e ja *Devononchus concinnus*'e tsoonidest. Lisaks vastab *Laliacanthus singularis*'e tsoon Pärnu lademele.

3.3.2.2. Röökalad

Röökalad (*Placodermi*) on ebatavaline grupp lõugsuuseid, kelle keha esipoolt katab paksudest luuplaatidest koosnev rüü (Long 2011). Nad ilmusid umbes 430 miljonit aastat tagasi, Siluri alguses, ning surid teadmata asjaoludel 355 miljoni aasta eest, Devoni lõpul, välja. See-eest oli tegu tippkiskjate rühmaga, mis domineeris ligi 60 miljonit aastat vertebraatide hulgas. Selts liigesekaelalised (*Arthodira*) suutis Devoni ajastul hõivata enamuse ökoloogilistest niššidest. Kuigi röökalad domineerisid Devoni ajastu vetes, leidsid nende anatoomias aset kiired evolutsioonilised muutused ja toimus kiire mitmekesistumine. Seetõttu on võimalik nende abil täpselt määrata Devoni settekivimite vanust.

Eestist on leitud hulgaliselt erinevate röökalade säilmeid. Röökalad on ühed eelistatuimad fossiilid Kesk-Devoni ülemise osa korreleerimise, kuna Eesti esindajad on sarnased Šotimaal leiduvatele s.o. Devoni ühe olulise tugipiirkonna fossiilidele (Mark-Kurik, 2000). Seltsi *Arthodira* esindajate *Coccosteus*, *Watsonosteus* ja *Plourdosteus* tsoone ning seltsi *Antiarchi* esindajate *Asterolepis* ja *Bothriolepis* tsoone kasutatakse Givet' ja Frasnes' lademetes. Nendega on korreleeritud Amata, Gauja, Burtnieki lade ja Narva lademesse kuuluv Kernave alamlade. Eesti aladel leidis ka tõelisi hiiglasid, kuni 2,5 meetri pikkuseid röökalu (psammosteiidid *Tartuosteus* ja *Pycnosteus* ja arthodiirid *Homostius* ning *Heterostius*).

3.3.2.3. Kõhrkalad

Kõhrkalasid (*Chondrichthyes*) võib pidada looduse edulooks (Long 2011). Nad ilmusid 420 miljonit aastat tagasi ja selle aja sees on toimunud vaid kaks suuremat muudatust, mis parendasid nende võimekust kütida. Esimene muudatus toimus Karboni alguses, seoses täispeaste ilmumisega ja teine Juura ajastul, mil ilmusid raikalad. Kui need kaks sündmust välja arvata, siis on kõhrkalade areng seisnenud pigem „pikaajalises täiuslikult töötava mudeli ümberhäälestamises“.

Eestis on kõhrkalad võrdlemisi vähe esindatud klass (Sarv andmebaas). On leitud vaid kahe erineva seltsi esindajad Burtnieki lademest, Härma kihistust, ning sedagi võrdlemisi hiljuti. Vastavad publikatsioonid on ilmunud vähem kui kümme aastat tagasi (Märss, 2008, Ivanov jt., 2011). Burtnieki lademest, Härma kihistust, on leitud *Karksilepis parva* soomuseid (Märss 2008), ning mõni aeg hiljem tuvastati samast paljandist *Karksiodus mirus* hambaid

(Ivanov jt 2011), kusjuures *Karksilepis parva* klassifikatsiooni osas pole kõik autorid ühel nõul ning *Karksiodus'e mirus* puhul on selts ja perekond täpsustamata. Hilisemad uuringud (Ivanov & Märss 2014) on näidanud, et *Karksioduse* hambaid ja soomuseid esineb ka Tartus, Aruküla koobastes (2004. aasta välitööde leiud) ning Leningradi oblastis.

3.3.2.4. Luukalad

Luukalad (*Osteichthyes*) moodustavad tänapäevaste selgroogsete hulgast suurima osa. Nende suurima mitmekesisusega grupp on kiiruimelised. Nad tekkisid 420 miljonit aastat tagasi, Siluri lõpus. Devoni alguseks olid ilmunud juba kõik luukalade põhirühmad. Luukalad jagunevad kaheks suuremaks grupiks, kiiruimsed ja vihtuimsed. Viimased jagunevad omakorda kopskaladeks ja lihasuimseteks. Tänapäeval eksisteerib umbes 30 000 liiki luukalu, kuid Devoni ajastu vetes ei olnud nende mitmekesisus kaugeltki nii kõrge. Silurist on teada vähe liike ja on raske kirjeldada nende tollast anatoomiat, kuid Devoni algusest on nende mitmekesisus pidevalt tõusnud, esialgu peamiselt kopskalade ja vihtuimsete arvelt. See areng jätkus kuni Devoni lõpuni, pärast mida suurem enamus neist suri välja.

Luukalade eellaste ainsad leiud pärinevad Siluri lõpust, Pridoli ladestikust. Siiani on leiud piirdunud üksikute soomuste ja hammastega ning mõne haruldase tükiga.

3.3.2.5. Kiiruimsed

Kiiruimsed (*Actinopterygii*) on tänapäeval luukalade suurimaid gruppe (Long 2011), moodustades 30 000-st liigist 29 000 liiki. Nende näol on tegu progressiivse evolutsiooni looga olenditega, kes on püsinud läbi suurte globaalmuutuste. Vanimad eelkäijad tekkisid 420 miljonit aastat tagasi, Siluri ajastu lõpus, kuid esimesed täielikult säilinud isendid pärinevad Šotimaa Kesk-Devoni paljanditest, mis on 25 miljonit aastat nooremad. Need kuuluvad perekond *Cheirolepis* esindajatele. Devoni ajastul oli nende mitmekesisus väike.

Märkimist väärib, et vanim leitud kiiruimse koljutükk pärineb Saaremaalt (Long 2011). Kiiruimsete leiud on haruldased, kuid nende säilmeid leidub ka Narva, Pärnu ja Aruküla lademes ehk Kesk-Devonis.

3.3.2.6. Vihtuimsed

Vihtuimsed (*Crossopterygii*) on sagaruumsete (*Sarcopterygii*) hulka kuuluv grupp. Devoni ajastul moodustasid nad suure kiskjate grupi (Long, 2011). Nad ilmusid Devoni alguses ning neid esindas ilmselt toona *Styloichtys*, kelle säilmeid on leitud Hiinast. Esimesed vihtuimsete kirjeldused avaldati Louis Agassiz'i poolt 1843-1844, kes kirjeldas Saksamaalt leitud Permi lõpust pärinevat *Coelacanthus granulatus*'t. Hiljem avastati tsölakante veel, alates Kesk-Devonist kuni Mesosoikumi lõpuni välja ning 1938. aastal leiti isegi retsentne esindaja.

Tsölakante peeti algul „puuduvaks lüliks“ tetrapoodide ja kalade vahel, ning retsentse esindaja näol on tegemist tõelise „elava fossiiliga“.

Vihtuimsete leiud (Mark-Kurik, 2000) Eestis on sagedased, perekond *Porolepis* on levinud peamiselt Alam-Devonis, kuid märkimist väärivad Pärnu lademes leiduvad rombilsed soomused. Viljandi kihtidest on leitud väga suuri porolepiformide (täpsemalt *Holoptychiidae*) säilmeid.

3.3.2.7. Kopskalad

Kopskalad (*Dipnoi/Dipneustomorpha*) on hästi uuritud tänu Austraaliast leitud hea säilivusega fossiilidele ning kolmele elavale perekonnale (Long, 2011). Nad ilmusid 400 miljonit aastat tagasi ning olid merelise eluviisiga, samas umbes 340 miljoni aasta eest olid kõik elavad kopskalad juba kohastunud elama mageveelises keskkonnas. Evolutsiooniliselt oli Devoni ajastu kopskalade jaoks tormiline ning seda on nimetatud ka „dipnoa renessanssiks“. Klassi „*Dipnoi*“ püstitati aastal 1844, kuid kuna see käsitles samaaegselt nii elus kui fossiilseid isendeid, järgnes sellele tulevastel kümnenditel suur segadus, kus pakuti korduvalt uusi nimesid ning arvati kopskalu erinevat järku taksonitesse. Tänapäeval loetakse *Dipnoi* alamklassiks ning sellesse kuulub kolm elavat perekonda kopskalasid.

Kopskalasid leidub Eesti läbilõigetes (Mark-Kurik, 2000) Aruküla ja Burtnieki lademes. Aruküla lademes võib ka leida suuremaid, umbes 6 cm pikkuseid *Conchodus*'e hambaplaate. Lisaks leidub *Dipnoi* fossiile Narva lademes, võib-olla ka Pärnu lademes.

4. Andmete eeltöötlus

4.1. Andmete kogumine ja ettevalmistamine

Andmete kogumisel seadsin eesmärgiks kokku saada suurem hulk erinevate liikide leiandmeid erinevatest leiukohtadest, mille alusel, kasutades CONOP tarkvara, oleks võimalik luua eksperimentaalne liigestusstandard Devoni ladestus toimunud bioloogilise mitmekesisuse muutuste uurimiseks. Andmekvaliteet on paraku varieeruv, puuraukude andmed on enamasti esitatud korrektselt (taksonite esinemissügavused on registreeritud), kuid paljandite puhul on taksonite esinemised peamiselt registreeritud ilma lasuvussügavusteta. Seetõttu sõltub liigestusstandardi koostamise edukus otseselt CONOP tarkvara algoritmi võimekusest kujundada sünduste järjestuse mudel üsna väheste järjestatud andmete baasil.

Ideaaljuhul oli andmete näol tegemist hästi dokumenteeritud puursüdamikuleidudega, koos sügavusandmestikuga. Selline teave pärineb peamiselt ajakirja „Estonian Geological Sections“ (EGS) väljaannetest, mis on parima kvaliteediga andmete allikaks, olles aluseks kokku 124 kirjele andmebaasis, ehkki andmed olid olemas vaid neljast puursüdamikust (Tabel 1). Valga 10 puursüdamikus (Valiukevicius & Kleesment, 2001) leidis 40 erinevat liigi tasandi taksonit (liiki või avatud nomenklatuuriga taksonit), Mehikoorma 421 puursüdamikus (Valiukevicius & Kleesment, 2005) 17 ning Ruhnu 500 puursüdamikus (Valiukevicius & Kleesment, 2003) 7 taksonit. Lisaks leidis teavet Tsiistre (327) puuraugu (Mark-Kurik, 2007) ja Tartu (453) puuraugu (Valiukevicius, 1998) kohta. Suurimat andmete hulka pakkus „Sarv: Eesti geokogude infosüsteem“, kus on kokku 3160 kirjet, kuid paraku esines nende kirjete hulgas väga arvukalt kordusi (dokumenteeritud on arvukad sama liigi leiud samast paljandist) ning palju avatud nomenklatuuriga või perekonna tasemel määratud leide. Kokku kogunes Sarv andmebaasist 569 unikaalset kirjet 155 erineva paljandi ja 206 erinevat taksoni kohta. Sellele lisandus teosest „Baltikumi Devon ja Karbon“ (Sorokin et al., 1981) tuhandetesse ulatuvatest registreeritud leidudest vaid 138 piisava täpsusega konkreetse läbilõike ja sügavusega/sügavusintervalliga kirjet 37 taksoni ja 61 läbilõikega.

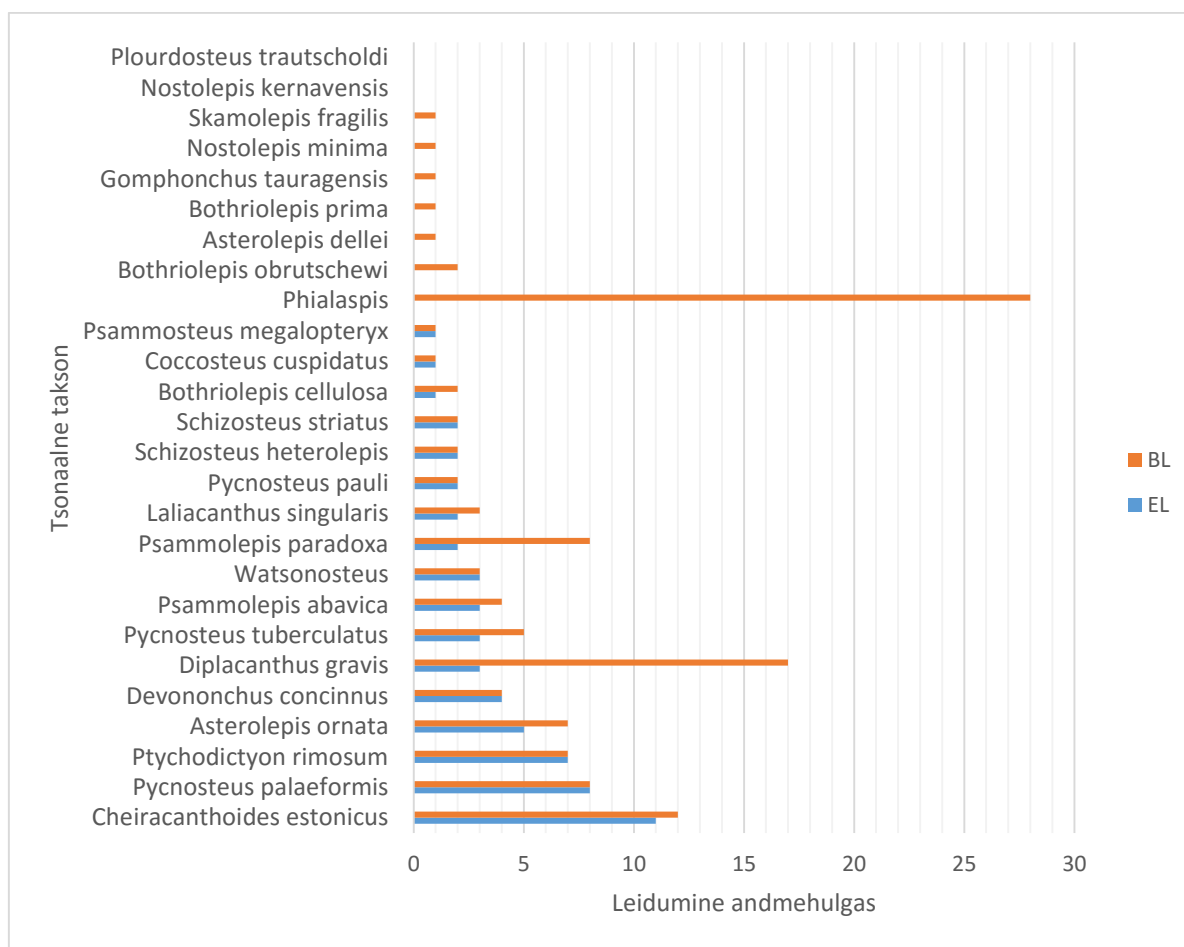
Liigi tasandi taksonite leiukohti oli kokku 166, millest 151 puhul (Joonis 1) oli olemas ka asukoha määrang või määramise võimalus nime alusel. 15 leiukoha puhul oli võimalik tuvastada vaid asukohariik.

Tsonaalsete taksonite esindatus andmebaasis oli väga erinev (Joonis 2). 13 liigi leiud käesoleva töö aluseks olevas andmebaasis on seotud vaid Eestiga. Üheksa liigi puhul puudusid andmebaasis kirjed Eesti kohta ja Tilze lademe puhul on *Phialaspis*'e tsoon Eestis määratletud liigi *Turinia pagei* esinemise alusel. Kahe liigi, *Nostolepis kernavensis* ja *Plourdosteus trautscholdi*, puhul puuduvad andmebaasis leiud üldse. Teiste piirkondade andmed kirjed täiendasid Eesti andmestikku enim taksonite *Phialaspis*, *Diplacanthus cravis* ja *Psammolepis paradoxa* puhul.

Andmete kogumine ja eeltöötlemine PAST ning CONOP9 algandmete formaati toimus MS Office Excel tarkvara kasutades. Andmete eeltöötamise käigus eemaldati korduvad identsed kirjed. Eemaldati ka nende taksonite kirjed, mille esinemise kohta oli sissekandeid vaid üks, sest see teave on kasutu seoste leidmiseks läbilõigete ja taksonite vahel ning CONOP kasutamine eeldab selliste kirjete eemaldamist andmete hulgast. Liikide esinemise põhjal loodi eraldi andmekogu, millel põhines üks osa eksperimentaalseid töötusi.

Tabel 1: erinevate allikate materjal ning eeltöötamise tulemused.

Allikas	Taksoneid	Leiukohti	Kirjeid
Sarv andmebaas	206	155	569
Baltikumi Devon ja Karbon	37	61	138
EGS	40	5	124
Kokku erinevaid	230	194	769
Pärast üksikleidude eemaldamist	136	189	673
Ainult liigid	106	166	506

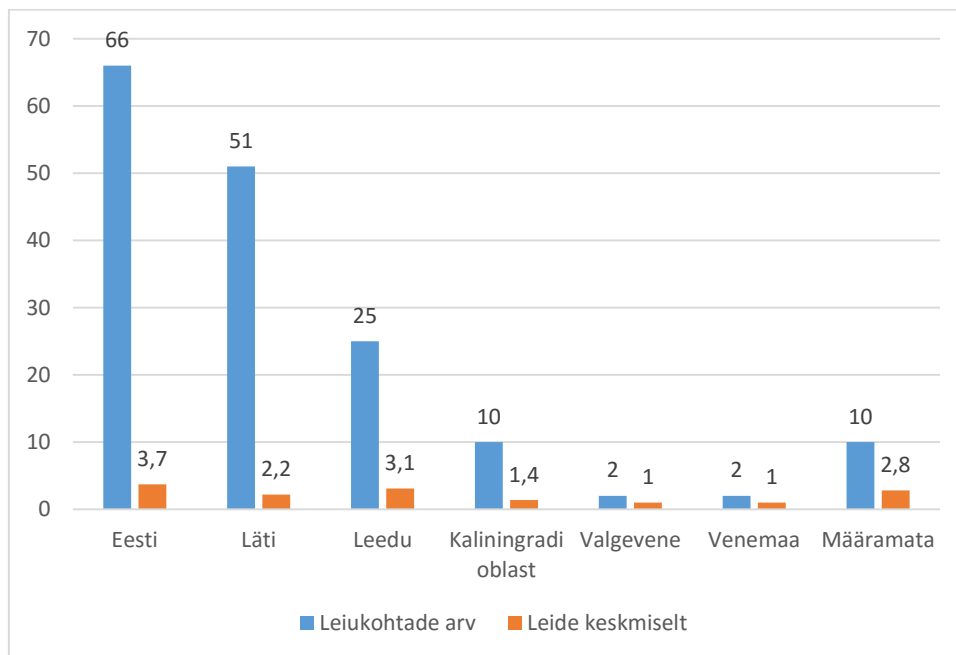


Joonis 2: tsonaalsete taksonite esinemine Eesti andmetes (EL) ja koondandmetes (BL)

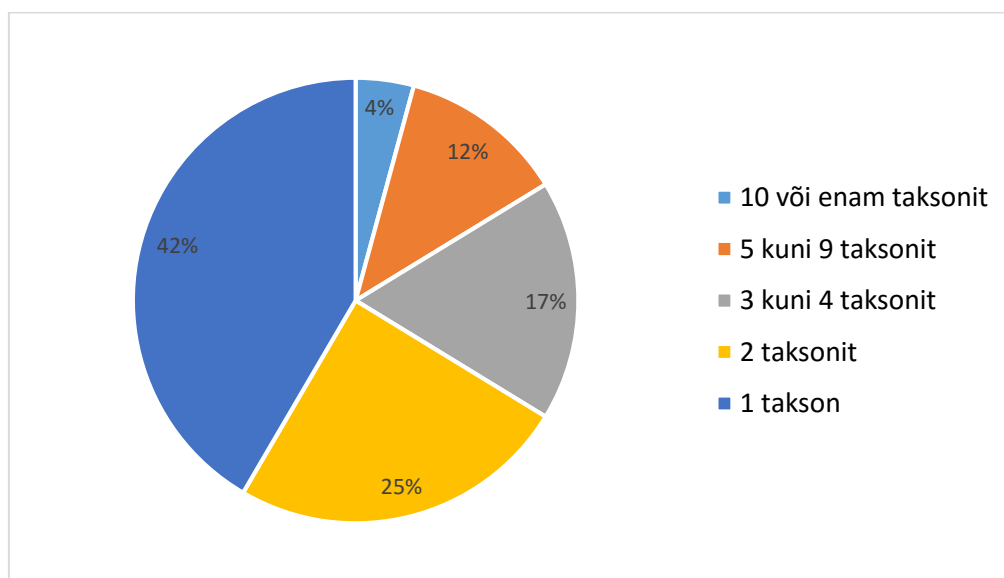
4.2. Leiukohtade iseloomustus

Töös käsitleti kokku 166 leiukoha (Joonis 3) andmeid, mis pärinesid viiest riigist. Enim leide pärines Eestist, järgnesid Läti, Leedu ning seejärel ülejäänud. Parima leiuandmestikuga paljandid olid Eestis ja Leedus. Nende piirkondade läbilõigetel esines keskmiselt vastavalt 3,7 ja 3,1 taksonit leiukoha kohta. Lätis on keskmine leidude arv leiukoha kohta 2,2. Andmebaasis on veel leiukohti Kaliningradi piirkonnast (10), Venemaalt (2), Valgevenest (2) ja lisaks veel 15 asukoha määranguta leiukohta. Vaid seitsmes leiukohas (Joonis 4) oli registreeritud enam kui 10 erineva taksoni esinemine, neist kõige rikkalikumad olid (Joonis 5) Valga 10 puurauk (21 taksonit), Karksi paljand (18 taksonit) ja Mehikoorna 421 puurauk (17 taksonit). 69 leiukohas oli dokumenteeritud vaid üksik leid, mistõttu neil puudus CONOP9 töötluse algandmetes tõlgendav väärtus. Andmebaasis oli 87 leiukoha kohta olemas ka

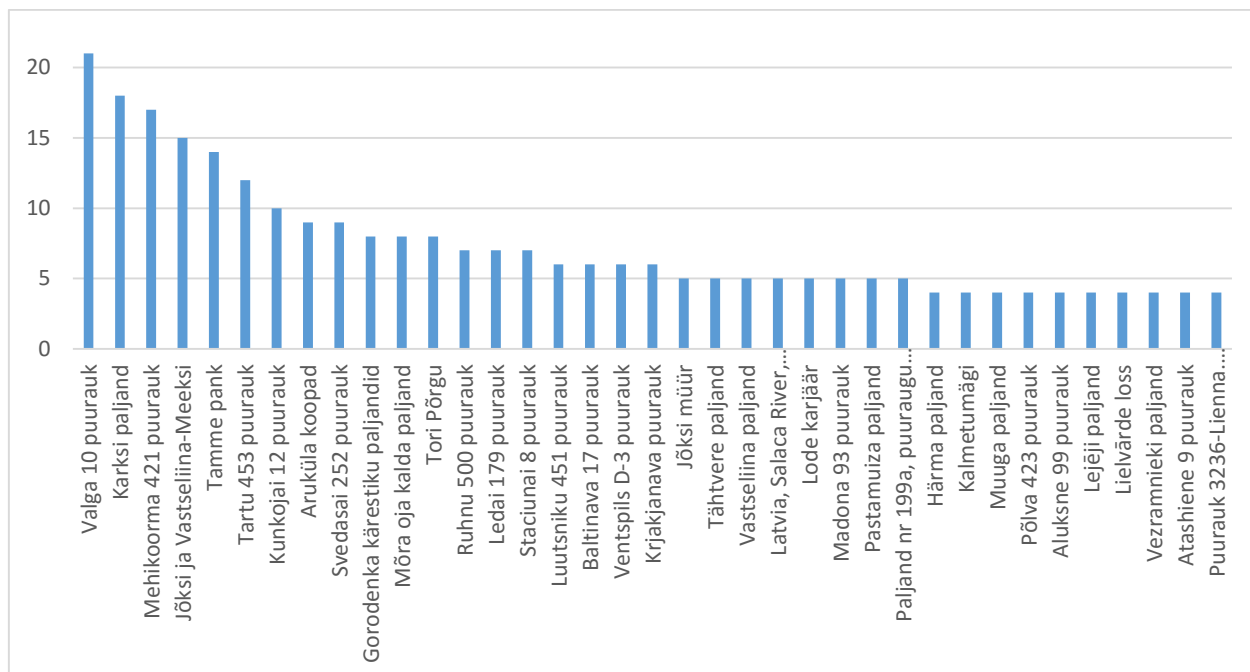
kronostratigraafiline info. Neist 80 puhul (Joonis 5) oli olemas viide ka Eestis kasutusel olevale litostratigraafilisele üksusele. Kõige arvukamalt läbilõikeid on seotud Aruküla (22), Narva (14) ja Burtnieki (14) lademega, järgnevad Gauja (11), Pärnu (7), Amata (7) ja Tilze (5). Neid andmeid oli võimalik kasutada töötluste tulemuste valideerimiseks.



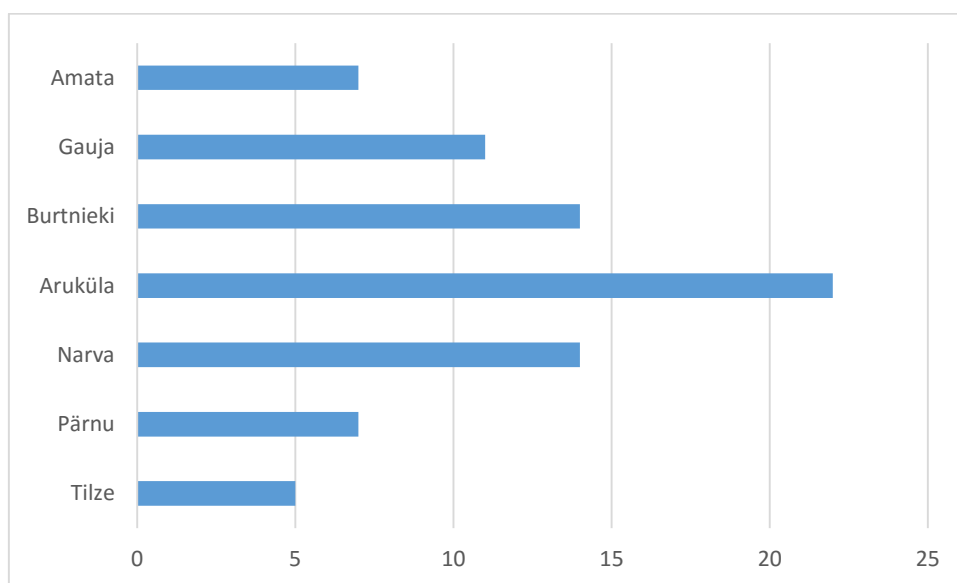
Joonis 3: Leiucohtade arv riigiti ning keskmine leidude arv antud riigi leiucohtades



Joonis 4: Läbilõigete jaotus leitud taksonite arvu alusel



Joonis 5: Liigirikkamad leiukohad ja määratud liikide arv nendes. Kuvatud kõik leiukohad, kus esineb vähemalt 4 leidu



Joonis 5: Leiukohtade jaotus kronostratigraafiliste üksuste kaupa

5. CONOP töötused

Andmete töötlemist alustati tarkvaraga PAST2. Kuna töö käigus selgus, et andmete hulk ületab tarkvara võimalusi, siis toimus üleminek CONOP9 platvormile.

5.1. Töötlusted erinevate andmehulkadega

CONOP töötluste tulemuste kvaliteet sõltub suuresti kasutaja valitud töötluste parameetritest (Sadler, 2002), mistõttu esialgu katsetati andmete töötlemisel erinevate parameetritega. Kuna CONOP juhendis puudusid soovituslikud parameetrid selliste andmemassiivide töötlemiseks, kus taksonite hulk oleks väiksem kui leiukohtade hulk, tuli sobivaimad parameetrid leida eksperimentaalselt ning neid rakendati hiljem kõigi töötluste puhul (Lisa 3).

Lahenduse otsingu protokolliks (SOLVER) sai valitud „anneal“, mis on CONOP9 soovituslik lahendusalgorithm peaaegu igale geoloogilisele situatsioonile (Sadler, 2002). Parameeter STEPS määrab arvutuslike astmete (sammude) arvu, mis sooritatakse enne simulatsiooni lõppemist. Parameeter TRIALS määrab iga sammu jooksul toimuvate katsetuste arvu. TRIALSxSTEPS määrab simulatsiooni mahukuse ja kestuse. Parameeter STARTEMP väärtus peab olema ligikaudu võrdne simulatsiooni „penaltite“ väärtusega ning see on sõltuv andmemahust. „Penalt“ tähistab CONOP9 puhul numbrilist väärtust, millega defineeritakse, kui palju on optimeerimisel taksonite levikuintervalli tulemuse genereerimisel suurendatud. Töötluste tulemusi saab hinnata penaltite väärtuse alusel.

Paljud andmehulgad on hästi töödeldavad STARTEMP („algtemperatuur“) väärtusega 100-500. Suhtarv ehk RATIO on kümnendmurruline väärtus, mis defineerib igal optimeerimise astmel rakendatava optimeerimise ulatuse. Väärtus jääb vahemikku 0,00-1,00, kuid harilikult kasutatakse väärtust vahemikus 0,90-0,99. Madalam suhtarv tähendab kiiremat optimeerimist. Algoritm on kavandatud ära hoidma arvutuslikke vigu juhul, kui optimeerimine läheb liiga detailseks.

Parameetrite seadmisel soovitatakse üldjuhul alustada parameetritest STEPS=500 TRIALS=100-10000 STARTEMP=50-200 RATIO=0.98. Nimetatud väärtuste kombinatsioon peaks tagama mõistliku optimeerimiste vahemiku. TRIALS väärtuse seadmisel töötab vähem kui 10 läbilõike ja 100 taksoni puhul hästi väärtus „100“, kuid enam kui 150 läbilõike ja 450 taksoni puhul on TRIALS soovitavaks väärtuseks „10000“.

Pärast korduvaid katseid valiti simulatsioonide tarvis parameetrid: SOLVER=“anneal“ STEPS=500 TRIALS=1000 STARTEMP=300 RATIO=0.98.

Järgnevalt on kirjeldatud nelja põhilist töötlust, mille tulemusi võrreldi omavahel ning seletatakse täpsemalt lahti töötluste ning simulatsioonide tulemused. Kõigi nelja põhitöötluste andmetele on lisatud ka „tehisliku läbilõike“ andmestik. Lisaks kirjeldatud töötlustele on tehtud veel ligikaudu viis täiendavat töötlust tulemuste täiendavaks analüüsimiseks ja optimeerimise võimaluste otsimiseks. Neid töötlusi enamasti eraldi ei analüüsita, kuid kohati esineb neile viiteid järgnevas tekstis.

Esialgsetes simulatsioonides töötati nelja erineva, kuid sarnaseid ühisosasid omavate andmekogudega (Tabel 2), hindamaks töötluste tulemusi ning valimaks järgmise etapi tarvis sobivaimat, mille andmete kvaliteet suudab kõige paremini edasi anda geoloogilist situatsiooni. Eraldi töödeldi:

- * Eestis aladel leiduvate liikide leide (edaspidi tähistatud EL – „Eesti leiud“),
- * Eesti alade kõikide taksonite leide (EKT – „Eesti kõik taksonid“),
- * Balti alade liikide leide (BL – „Balti leiud“),
- * Balti alade kõikide taksonite leide (BKT – „Balti kõik taksonid“).

Leidmaks sobivaimat lahendust, hinnati erinevate töötluste esinemiste järjekordade ja tulemuste numbriliste väärtuste kokkulangemist tsonaalsete taksonite levikupiltidega korrelatsiooni koefitsenti alusel, kasutades MS Exceli funktsiooni CORREL.

Suuremat sündmuste hulka (sündmuse näol on tegemist liigi esmailmumise või kadumise tasemega leiukohas) pakkunud EKT ja BKT töötlused näitasid väiksemat korrelatsiooniprotsenti ning suuremat penaltite arvu. Suurem penaltite arv on seletatav üksikute perekonna tasandil määratud üksuste eksisteerimisest üle kogu võimaliku loodava levikuintervalli. Sellised taksonid võivad tekitada vastuolusid teiste taksonitega, mistõttu kõigi taksonite levikuintervalle suurendatakse. Kuna suurem penaltite arv kajastab tulemuse väiksemat täpsust, otsustati EKT ja BKT edasisest käsitlest loobuda. EL ja BL töötlused andsid rahuldavaid korrelatsioone ning madalamate penaltite arvuga. Tulenevalt aga

tsonaalsete taksonite suuremast hulgast BL töötlus (Joonis 2) ning suuremast sündmuste hulgast, tuginetakse edasises töös peamiselt sellele andmevalimile.

Tabel 2: erinevate töötluste algandmed ning töötluste statistilised tulemused

	EL	EKT	BL	BKT
Taksoneid	88	109	107	136
Läbilõikeid	70	78	167	187
Sündmusi	568	766	1020	1346
Penaltid	157	484	382	1009
Korrelatsiooni koefitsient tsonaalsete taksonite alusel	91.20%	80.90%	87.40%	85.10%

5.2. Täiendavad töötlused

Testimaks erinevaid andmemahtusid ja nende kvaliteeti, loodi neli erinevatel andmekogumitel tuginevat töötlust:

* BL2_min: käsitleb vaid taksoneid, kus puuduvad *cf* liitega ning avatud nomenklatuuriga taksonid.

* BL2wt: sama mis BL2_min, kuid pole kaasatud tehislikku läbilõiget tsonaalsete taksonitega.

* BL3_min: sama mis BL2_min, kuid kaasatud on vaid need liigid, millel teada vähemalt kolm esinemist.

* BL3wt: sama mis BL3_min, kuid pole kaasatud tehislikku läbilõiget tsonaalsete taksonitega.

Töötluste puhul, kus esineb „_min“ liide, on eemaldatud andmetest *cf*-määranguga taksonid. Samuti puuduvad avatud nomenklatuuriga taksonid (*Acanthoides?* A, B, C ja D: Valiukevicius), mille levikuintervallid puursüdamikes küündisid kohati sadadesse meetritesse. BL_2min puhul (Tabel 3) säilis pärast kärpimist 83 erinevat taksonit ja 99 läbilõiget, 628 erineva sündmusega.

BL3_min töötlus oleks eeldatavalt pidanud pakkuma parimat tulemust, kuid taksonoomiline mitmekesisuse langus (võrreldes BL2_min töötlusega 24 taksonit vähem, seal hulgas tsonaalsete taksonite vähenemine (Joonis 2) seitsme võrra), tingis tsonaalsete taksonite omavahelise madala korrelatsiooni koefitsendi.

BL2wt töötluse puhul kontrolliti tulemuste sõltuvust tsonaalsete taksonite esinemistsoonide esinemisest töötluse andmetes. Tulemuseks oli madal korrelatsioonikoefitsient, millest tulenevalt antud töötluse andmete edasisest kasutamisest loobuti.

Tabel 3: Lisatöötluste algandmed, tulemused ja nende võrdlus olemasolevate töötlustega.

	EL	BL	BL2_min	BL3_min	BL2wt
Taksoneid	88	107	83	59	80
Läbilõikeid	70	167	99	93	97
Sündmusi	568	1020	628	616	672
Penaltid	157	382	199	140	115
Korrelatsiooni koefitsient tsonaalsete taksonite alusel	91.20%	87.40%	83.27%	78.30%	15.74%

5.3. Andmete ja töötluste problemaatilised aspektid

5.4. Andmete ja töötluste problemaatilised aspektid

Tulemuste täpsust ja detailsust võivad mõjutada mitmed põhjused (Sadler, 2010). Esiteks, fossiilid on osa settematerjalist, mis võivad üle elada kulutus- ja ümberasetamise tsükleid, mille tulemusena materjal võib sattuda väljapoole normaalset esinemistsooni. Sel juhul võib taksoni viimane esinemine läbilõikes olla liiga kõrgel tegelikust levikuintervallist.

Teiseks, lahtise settematerjali segunemisel toimub kesendamine ning fossiilid võivad teatud ulatuses seguneda. Kolmandaks, juhul kui puursüdamiku seintest või lahtisest materjalist peaks puurimise käigus fossiilmaterjali pudunema, võivad leiud näida anomaalselt vanad, ehkki see kehtib vaid mikrokivististe kohta. Neljandaks, taksoni valemäärang võib tekitada tegelikest

totaalselt erinevaid levikuintervalle. Kvaliteedi kontroll on seega hädavajalik osa igast kvantitatiiv-biostratigraafilisest tööstusest.

Liigi *Devononchus concinnus* esmailmumise tsoon asus kõigis tööstlustes kõvasti madalamal kui oleks pidanud paiknema, tekitades olukorra, kus selle esmailmumine defineeriti Kemeris või Rezekne lademesse. Kontrollimisel ilmnis, et antud anomaalia põhjus tulenes üksikust vigasest kirjest: *Devononchus concinnus* leid Lejeje paljandist Lätist oli vea tõttu seostatud Tori Põrgu paljandiga, mis tõi Burtneki lademele iseloomuliku liigi Pärnu lademesse ning põhjustas anomaalseid tulemusi. Kuna viga selgus töö väga hilises staadiumis, siis sooritati kontrolliks kaks täiendavat tööstlust BL2_min ja BL andmetega, selgitamaks vea võimalikke mõjusid. Kuna vea esinemine ei mõjutanud teiste liikide leviku üldist pilti, siis vea tekitanud taksonit lihtsalt ignoreeriti.

Kõige suuremaks probleemiks oli tööstluses taksonite ja läbilõigete hulga ebasobiv suhe. 42% leiukohtadest oli registreeritud vaid üks leid (Joonis 4), mistõttu nendel läbilõigetel puudub korrelatsiooni seisukohalt väärtus. Neid on võimalik rakendada vaid andmete järelkontrollil, standardis esinevate liikide levikuintervallide järjestuse ja asendi võrdlemisel geoloogiliste andmetega. 24% leiukohtadest esines vaid kaks taksonit, mis on taksoni informatiivsuse miinimum nõudeks CONOP9 puhul. BL2wt tööstluse näitel ilmneb, et kui eemaldada tööstlusest sündmuste järjestust toetav tsonaalsete taksonite levikujärjestus (Tabel 4), muutub lademetes piiride määramine võimatuks. See on selgeks märgiks, et andmekogu ei ole piisav usaldusväärse tulemuse saamiseks standardsete meetoditega. Lisaks, kuna kõigis andmekogumites puudub mingi hulk tsonaalsete taksonite (Joonis 2, Tabel 4), siis kaob pärast ebakindlate määrangute ja avatud nomenklatuuriga taksonite eemaldamist (andmekogum BL2_min) võimalus määrata Kemeris ja Rezekne lademe vahelist piiri ning kahe leiuga liikide väljajätmisel (BL3_min) ilmnevad probleemid ka Plavinase, Dubniki ja Daugava lademe piiritlemisega. Kuna Dubniki ja Daugava lademe vahelise piiri määramise võimalus puudub üldse, siis ongi neid antud tööstlustes käsitletud liidetud üksusena.

Tabel 4: erinevate töötluste poolt määratud lademete ülemised piirastmed (mis näitab lademe lõppu), tuginedes tsonaalsetele taksonitele ning CONOP töötlusele omistatud kõrgeima astme väärtustele

Lade	EL	BL	BL2_min	BL3_min	BL2wt
Kõrgeim astme väärtus	176	229	166	116	160
Dubniki ja Daugava	157	229	164		
Plavinase	157	220	163		
Amata	138	192	139	105	36
Gauja	133	180	138	103	144
Burtnieki	112	124	131	83	8
Aruküla	99	112	120	78	7
Narva	70	83	81	57	48
Pärnu	42	58	49	31	5
Rezekne	40	57	47	29	91
Kemeri	18	49			
Tilze	16	31	31	11	64

6. Tulemused

Selles peatükis tutvustatakse lähemalt EL, BL, BL2_min ja BL3_min töötluste tulemusi. Valdavalt opereeritakse BL ja BL2_min töötluste tulemustega, kuid võrdluse mõttes on välja toodud ka teiste töötluste parameetrid.

6.1. Liikide leviku intervallid

CONOP9 töötluste peamiseks väljundiks on taksonite levikuintervallid. Luuakse n-arv sündmustasemeid, mis on vajalikud antud geoloogilises aja-aknas sündmuste järjestamiseks ning selle kaudu kujunevad taksonite stratigraafilisest liigestusest sõltumatud levikuintervallid. Mida enam taksoneid esineb mingil sündmustasemel, seda suurem on liigirikkus sellel ajahetkel.

Töötluste tulemused on paraku üsna erinevad. BL2_min ja BL töötluste tulemuste vaheline kokkulangevus on vaid 75,6% ning BL2_min ja BL3_min vaheline kokkulangevus on vaid 55%. Lisaks, kui võrrelda tulemust Eesti geokogude infosüsteemis (SARV) olevate andmetega (Tabel 5), siis ilmneb, et kokkulangevuste hulk on tunduvalt väiksem kui 100%, olles suurem vaid Burtnieki ning Aruküla lademetes ja Tilze lademes. Ülejäänud üksuste piires on taksonite levikuintervallides infosüsteemis näidatuga suuremal või vähemal määral erinevad kattuvusi. See annab alust arvata, et andmete kvaliteet ning maht pole kõigil tasemetel piisav täiesti usaldusväärse kvantitatiiv-stratigraafilise levikumodeli saamiseks. Tuginedes Sarv andmebaasi määrangutele taksonite leiukohtade lademetes kohta, selgus, et enamus töötluste poolt valesti määratud taksonitest olid omandanud kas väga madalaid või väga kõrgeid astmelisi väärtusi (Tabel 6), mistõttu andmeanalüüs selle andmehulga alusel on Kesk-Devoni osas kindlasti adekvaatsem kui mujal. BL töötlus, milles on esindatud suurem hulk erinevaid taksoneid, paistis siiski silma ka suurema täpsusega Alam-Devoni nooremates lademetes.

Järgnevalt on näidisedena esitatud BL töötluste tulemuste ja infosüsteemi andmestiku lahknemuste analüüs. Lähtekohaks on töötluste tulemused (Lisa 6), mida on kõrvutatud SARV andmebaasi omadega (Tabel 5). Alam-Devoni ja Siluri andmetes on 10 liigi määrangut 33-st, mis sinna ei tohiks kuuluda ning kaheksal juhul 33-st (5 akantoodi, 3 lõuatut) on Tilze lademe üksustesse sattunud Siluri ladestu noorimatele kihtidele spetsiifilised taksonid.

Kemeri ja Rezekne lademe tulemustesse on sattunud üks Narva lademele, kaks Burtnieki lademele, viis Gauja lademele ja kaks Ülem-Devonile spetsiifilist taksonit. Kesk-Devoni lademetes puhul oli lahknemusi vähem. Kuna Pärnu lademe levikuintervall oli määratud vaid ühe liigi kitsa esinemisintervalli poolt (*Schizosteus heterolepis*, vahemik 58-59), ei ole seda intervalli võimalik täpselt analüüsida. Narva lademes esineb BL tulemuste kohaselt 13 taksonit, millest neli andmebaasides seotud hoopis Burtnieki lademega. Aruküla lademes esineb BL töötluste alusel 17 taksonit, millest kaks oleks pidanud kuuluma Narva lademesse, kaks Burtnieki lademesse ning üks Amata lademesse. Burtnieki lademes ilmus BL töötluste järgi neli taksonit, mis kõik esinevad täpselt samas vahemikus (112-124), mis vastab täpselt Burtnieki lademele antud töötlustes. Gauja lademes töötluste järgi ilmunud taksoneid on kokku kuus, kuid neist üks kuulub tegelikult Pärnu lademesse ning kolmel juhul oli antud taksonitele omane minimaalne, ühele standardi koosnev tasemele vastav levikuintervall. Amata lademest teada olevaid esmailmumisi on kokku viis. Neist kolmel korral langes ilmunise tase kokku Sarv andmebaasi andmetega, ühel juhul oleks pidanud ilmunine toimuma Narva, teisel korral Burtnieki lademes. Ülem-Devoni üksuste korrelatsioon on kõige nõrgem. Kümnest Plavinase

lademesse sattunud taksonist vaid kaks peaksid sinna tegelikult ka kuuluma. Ühel juhul on tegemist Devoni noorimas, Famenne lademes esineva taksoniga ning seitsmel juhul Kesk-Devonis levivate taksonitega. Dubniki ja Daugava siseliigestuses esinevast kuuest tasemest viis on seotud liikidega, mis andmebaaside järgi esinevad Kesk-Devonis.

Tabel 5: SARV andmebaasi leidude määranu võrdlus BL töötuse andmetega. Halliga märgitud ebakõlad

Takson	BL2 töötuse tulemus		Sarv andmebaasi määranu
	FAD	LAD	Lade
<i>Actinolepis magna</i>	Plavinase	Plavinase	Burtneki lade
<i>Actinolepis tuberculata</i>	Narva	Narva	Narva lade
<i>Archaeacanthus quadrisulcatus</i>	Rezekne	Rezekne	Narva-Gauja
<i>Asterolepis essica</i>	Narva	Narva	Burtneki lade
<i>Asterolepis estonica</i>	Aruküla	Burtneki	Aruküla lade
<i>Asterolepis ornata</i>	Gauja	Plavinase	Gauja lade
<i>Asterolepis radiata</i>	Rezekne	Rezekne	Amata lade
<i>Belgicaspis crouchi</i>	Narva	Narva	Lockhovi
<i>Bothriolepis cellulosa</i>	Plavinase	Plavinase	Plavinase lade
<i>Byssacanthus dilatatus</i>	Plavinase	Plavinase	Narva lade
<i>Cheiracanthoides comptus</i>	Narva	Narva	Narva lade
<i>Cheiracanthoides estonicus</i>	Narva	Narva	Narva lade
<i>Cheiracanthoides nativus</i>	Tilze	Tilze	Lockhovi
<i>Cheiracanthoides planus</i>	Silur	Silur	Ohessaare-Tilze
<i>Cheiracanthus brevicostatus</i>	Narva	Aruküla	Burtneki lade
<i>Cheiracanthus crassus</i>	Narva	Narva	Narva lade
<i>Cheiracanthus longicostatus</i>	Narva	Aruküla	Burtneki lade
<i>Coccosteus cuspidatus</i>	Aruküla	Aruküla	Narva lade
<i>Coccosteus grossi</i>	Aruküla	Burtneki	Aruküla lade
<i>Coccosteus orvikui</i>	Kõrgem	Kõrgem	Narva lade
<i>Corvaspis karatajuteae</i>	Tilze	Rezekne	Lohkhovi
<i>Devononchus concinnus</i>	Rezekne	Plavinase	Burtneki lade
<i>Diplacanthus carinatus</i>	Narva	Aruküla	Burtneki lade
<i>Diplacanthus gravis</i>	Aruküla	Gauja	Aruküla lade
<i>Ectopacanthus flabellatus</i>	Rezekne	Rezekne	Kemeri-Pärnu
<i>Endemolepis inconstans</i>	Silur	Silur	Ohessaare-Tilze
<i>Ganosteus artus</i>	Aruküla	Burtneki	Aruküla lade
<i>Ganosteus stellatus</i>	Gauja	Gauja	Aruküla lade
<i>Glyptolepis baltica</i>	Aruküla	Aruküla	Gauja-Amata

<i>Haplacanthus marginalis</i>	Gauja	Gauja	Narva lade
<i>Heterostius ingens</i>	Aruküla	Burtneki	Aruküla lade
<i>Holoptychius nobilissimus</i>	Rezekne	Rezekne	Ülem-Devon
<i>Homacanthus gracilis</i>	Plavinase	Plavinase	Burtneki lade
<i>Homostius latus</i>	Plavinase	Plavinase	Aruküla lade
<i>Homostius sulcatus</i>	Aruküla	Burtneki	Aruküla lade
<i>Laccognathus panderi</i>	Plavinase	Plavinase	Gauja lade
<i>Laliacanthus singularis</i>	Rezekne	Narva	Rezekne lade
<i>Lietuvacanthus fossulatus</i>	Tilze	Tilze	Lockhovi
<i>Livosteus grandis</i>	Silur	Silur	Burtneki lade
<i>Markacanthus alius</i>	Aruküla	Aruküla	Aruküla-Burtneki
<i>Markacanthus costulatus</i>	Narva	Narva	Narva-Burtneki
<i>Megadonichthys kurikae</i>	Silur	Silur	Burtneki lade
<i>Nostolepis alta</i>	Silur	Tilze	Ohessaare lade
<i>Nostolepis gracilis</i>	Tilze	Tilze	Kuressaare lade
<i>Nostolepis robusta</i>	Silur	Tilze	Tilze lade
<i>Nostolepis striata</i>	Silur	Rezekne	Kuressaare lade
<i>Orvikuina vardiaensis</i>	Narva	Narva	Narva-Aruküla
<i>Panderichthys rhombolepis</i>	Aruküla	Aruküla	Gauja lade
<i>Plourdosteus livonicus</i>	Rezekne	Rezekne	Gauja lade
<i>Poracanthodes punctatus</i>	Silur	Tilze	Ohessaare lade
<i>Poracanthodes subporosus</i>	Silur	Silur	Paadla Tilze
<i>Pruemolepis wellsi</i>	Rezekne	Rezekne	Kaugatuma-Narva
<i>Psammolepis abavica</i>	Burtneki	Gauja	Burtneki lade
<i>Psammolepis alata</i>	Aruküla	Aruküla	Gauja lade
<i>Psammolepis heteraster</i>	Narva	Narva	Gauja lade
<i>Psammolepis paradoxa</i>	Gauja	Amata	Gauja lade
<i>Psammolepis proia</i>	Aruküla	Aruküla	Aruküla lade
<i>Psammolepis toriensis</i>	Plavinase	Plavinase	Pärnu lade
<i>Psammolepis undulata</i>	Plavinase	Plavinase	Gauja lade
<i>Psammolepis venyukovi</i>	Narva	Narva	Gauja lade
<i>Psammosteus bergi</i>	Silur	Silur	Burtneki lade
<i>Psammosteus maeandrinus</i>	Plavinase	Plavinase	Amata lade
<i>Psammosteus megalopteryx</i>	Dubniki ja Daugava	Kõrgem	Dubniki lade
<i>Psammosteus praecursor</i>	Narva	Narva	Aruküla lade
<i>Ptychodictyon distinctum</i>	Narva	Aruküla	Narva-Aruküla
<i>Ptychodictyon rimosum</i>	Narva	Aruküla	Burtneki lade
<i>Ptychodictyon sulcatum</i>	Narva	Aruküla	Burtneki lade
<i>Pycnolepis splendens</i>	Plavinase	Plavinase	Pärnu lade
<i>Pycnosteus palaeformis</i>	Aruküla	Aruküla	Aruküla lade
<i>Pycnosteus pauli</i>	Aruküla	Burtneki	Aruküla lade

<i>Pycnosteus tuberculatus</i>	Burtnieki	Gauja	Burtnieki lade
<i>Rhadinacanthus balticus</i>	Narva	Narva	Narva-Aruküla
<i>Rhadinacanthus multisulcatus</i>	Narva	Aruküla	Aruküla-Burtnieki
<i>Rhinopteraspis cornubica</i>	Plavinase	Plavinase	
<i>Schizosteus heterolepis</i>	Pärnu	Narva	Pärnu lade
<i>Schizosteus striatus</i>	Aruküla	Aruküla	Narva lade
<i>Tareyacanthus dissectus</i>	Tilze	Tilze	Lohkhovi-praha
<i>Tartuosteus giganteus</i>	Aruküla	Burtnieki	Aruküla lade
<i>Tartuosteus maximus</i>	Burtnieki	Burtnieki	Burtnieki lade
<i>Thursius estonicus</i>	Aruküla	Aruküla	Aruküla lade
<i>Traquairaspis /Phialaspis</i>	Tilze	Rezekne	Tilze lade
<i>Tropinema haermae</i>	Burtnieki	Burtnieki	Burtnieki lade
<i>Watsonosteus</i>	Burtnieki	Gauja	Burtnieki lade

Tabel 6: Tulemuste võrdlusel Sarv andmebaasiga tuvastatud määrangute täpsus erinevates töötlustes. Töötluste tulemustes esinenud taksonite levikuintervalle võrreldi iga lademe puhul eraldi Sarv andmebaasi määrangutega. Antud protsentuaalne väärtus tuleneb õige lademe määratlusega taksonite jagamisest kõigi töötluste tulemustes lademe piiridesse jäävate taksonite hulgaga. Kõrgem tulemus näitab paremat korrelatsiooni tulemuste ja Sarv andmebaasi vahel, väiksem protsent näitab suuremat lahkeli

Lade	BL2	EL	BL
Dubniki ja kõrgem	50.00%	12.50%	16.67%
Plavinase lade	11.11%	12.50%	20.00%
Amata lade		100.00%	60.00%
Gauja lade	50.00%	27.27%	83.33%
Burtnieki lade	100.00%	100.00%	100.00%
Aruküla lade	73.33%	60.00%	70.59%
Narva lade	22.22%	50.00%	66.67%
Pärnu lade	100.00%	100.00%	100.00%
Rezekne lade	33.33%	11.11%	50.00%
Kemeri lade			14.29%
Tilze lade	100.00%	100.00%	46.67%
Ohessaare lade	57.14%	25.00%	60.00%
Kokku	51.79%	37.93%	53.19%

6.2. Paljandite geoloogiline vanus ja määrangute täpsus

Määramaks kronostratigraafiliste üksuste piire mudelite (standardite) suhtes, võeti aluseks tsonaalsete taksonite esmailmumine ja kadumine. Töös käsitleti vaid lademeid (alamlademeid ei käsitletud). Enamiku töötluste korral on Alam-Devoni ja Ülem-Devoni lademete piiride määramisel, kui need põhinevad ühe või maksimaalselt kahe taksoni esmailmumisel ja kadumisel, lademe piiritlemise täpsus ilmselt väiksem. Kesk-Devoni lademete puhul, kus iga piiri määravate taksonite hulk varieerub kolmest kuni üheksani, arvestati võimaluste piires kõige alumist (vanemat) sündmustaset. Erandina ei võetud ühegi töötluste puhul Burtnieki lademe piiritlemisel arvesse *Devononchus concinnuse* (vt. 5.3.) esmailmumist, kuna töötlustes ilmnes selle liigi ebarealistlikult madal esmailmumise tase, mis paigutus pigem Kemer ja Rezekne lademesse. Tabel 4 sündmustasemetega seostatud piire on kasutatud kõigil järgnevatel joonistel standardi seostamiseks lademelise liigestusega.

BL töötlus, mis on näidanud teistest töötlustest suuremat korrelatsiooni taksonite levikupiltide osas, on leiukohtade määratluse poolest samuti võrdlemisi heade tulemustega.

Hindamaks läbilõigete stratigraafilise asendimääratlemise täpsust CONOP töötlustes, on esitatud joonis leiukohtade geoloogilise levikuga (Lisa 4; Lisa 5). Antud joonisel on kooskõlade esitlemiseks tähistatud Tilze, Pärnu, Narva, Aruküla ja Burtnieki lademete Sarv andmebaasi määranguga leiukohapaljandite stratigraafiline intervall. Töötluste analüüsist ilmneb, et kooskõla ei ole kuigi hea. Kuigi üksikud suuremad leiukohad on positsioneeritud õigesti ja enamus leiukohtade määratlused paiknevad võrdlemisi lähedal oma tegelikule levikuintervallile, leidub igas töötlustes leiukohti, mis CONOP töötluste jääb õigest lademe levikuintervallist kaugemale. Ilmnes ka seaduspärasus Sarv andmebaasi määrangut omavate leiukohtade äärmuslike vigade esinemises. Vaadates lähemalt leiukohtade levikuintervallide joonist (Lisa 5) lademe määrangut omavas osas, näib et Alam-Devonist Kesk-Devonini määranguga tulemustes valesti paigutatud leiukohtade tasemeline väärtus satuks õigesse piirkonda, kui selle väärtust pöörata ümber astme väärtuse „130“ poolt kujutataval teljel. Teisisõnu, rakendades tehet $130-(x-130)$, kus x tähistab taksoni leviku intervalli, oleks võimalik leiukoht saada õigesse intervalli. Selline efekt võib teoreetiliselt tuleneda kahe erineva tüüpkoosluse kuid sama ajalist järgnevust kujutava andmehulga esinemisest. Need kaks erinevat leiukohtade hulka peavad olema piisavalt seotud et tekitada järjestus, kuid ühe puhul pole CONOP võimeline siduma seda õige tasemega, ning tõlgendab seda hulka vääralt, andes

siiski leiukohtadele õiged väärtused mingi seotud taseme suhtes. Antud juhul, siduvaks sündmuseks pidi olema takson, mille levikuintervall jäi 130 astme lähedale.

CONOP töötluses parimat kattuvust oma tegelike levikuintervallidega omasid Tilze ja Narva lademe üksused ning oma tegeliku levikuintervalli lähedusse jäi enamus Burtnieki lademe intervallidest. Kuigi Sarv andmebaasi järgi Aruküla lademe leiukohtade paigutus tulemustes oli väga lähedal töötluses määratud Aruküla lademe intervallile, hajusid selle leiukohad võrdlemisi ühtlaselt peaaegu terve Kesk-Devoni peale.

Paljud Sarv andmebaasi alusel Aruküla ja Burtnieki lademete levikuga leiukohad on töötluse tulemustes sattunud Narva lademesse. Enamus Gauja lademe määratlusega üksustest asetseb töötluse alusel aga hoopis Aruküla lademes ning enamus Burtnieki lademe üksustest asub töötluse andmete järgi Gauja lademes.

Õigesse levikuintervalli satuvad igas töötluses Tartu 453 puuraugu, Kallaste paljandi leiukohad ning kõigis teistes töötlustes peale BL ka Tartu kalmistu paljandi, mis viitab heale omavahelise korrelatsioonile. Anomaalselt kõrgetest või madalatest levikuintervallidest satuvad samasse intervalli Sigulda ja Pühajõe paljand, millest kummastki on leitud vaid üks takson. Sarnane trend peegeldub ka Pärnu ja Narva lademe Sarv andmebaasi levikuintervallist anomaalselt kaugete väärtuste puhul, leiukoha taksonite käsitus piirdub ühe leiuga. Säärane trend ei esine aga Burtnieki ja Gauja lademe leiukohtades, kus õigetes levikuintervallidesse on sattunud just üksikuid leide omavad leiukohad.

6.3. Bioloogilise mitmekesisuse uuringud

Bioloogilise mitmekesisuse kirjeldamiseks siluti Exceli abil CONOP genereeritud bioloogilise mitmekesisuse kõverat viieühikulise libiseva keskmise alusel, et üldised trendid paremini väljenduksid. Ehkki oli võimalik valida erinevate andmemassiivide töötluste tulemusi, kasutati antud juhul BL näidet, mille tulemuste vastavus reaalsele (geoloogilistest andmetest teada olevale) taksonite levikupildile oli üks parimaid ning kus leidis ka piisaval hulgal erinevaid taksoneid.

BL töötuse põhjal koostatud mitmekesisuse kõverate (joonis 6) alusel tipnes Alam-Devoni mitmekesisus 11 erineva liigiga Tilze lademe lõpus. Kesk-Devoni mitmekesisuse maksimum jäi Aruküla lademes keskpaika ning mõlemal juhul vedas mitmekesisuse maksimumi peamiselt akantoodide liikide arvukus. Aruküla lademe teises pooles hakkab akantoodide liigiline arvukus vähenema ning saavad domineerivaks rühmaks lõuatute ja rüükalade esindajad., mis jääb kestma Daugava lademe lõpuni. Tulemustes ilmnevad järsemad liigilise mitmekesisuse kõikumised, kus kõigi erinevate liikide arvukus võib kõikuda kuni 11 erineva ühiku võrra ühe intervalli astme kohta. Tegemist ei ole ilmselt kiire liigilise mitmekesisustumise ja väljasuremisega, vaid pigem töötuse veaga.

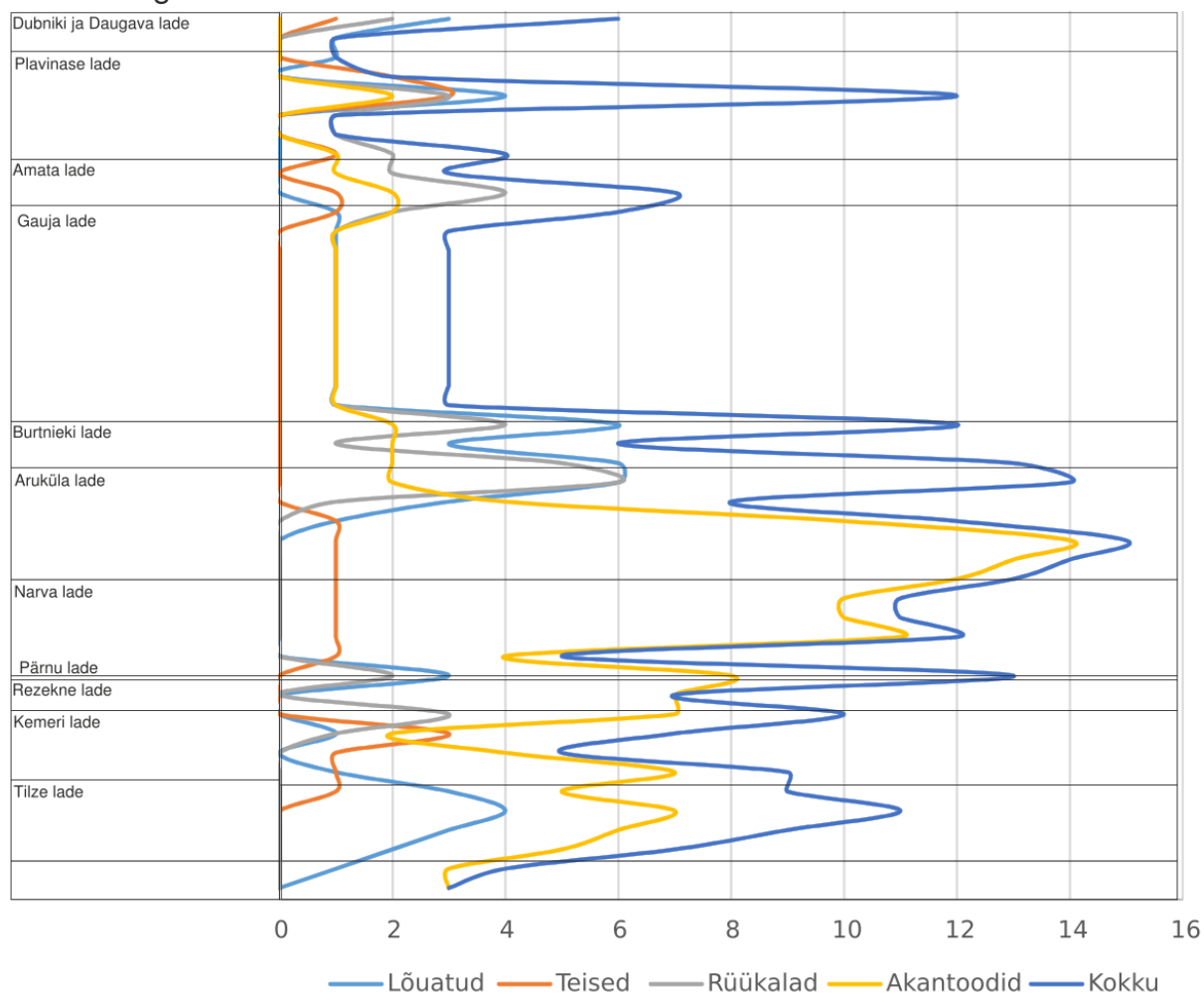
Kuigi biodiversiteedi uuringute puhul erinevate klasside levikuintervallid olid lünklikud, siis töötuse tulemuste võrdleva analüüsi puhul globaalsete andmetega (Lamsdell & Braddy, 2009) ilmnas nii mõnigi sarnasus (Joonis 7, Joonis 8). Nii BL töötuse tulemuste kui globaalse standardi põhjal on lõuatute puhul märgata Lockhovi lademes suuremat mitmekesisust ja selle hilisemat langust. Rüükalade puhul peegeldub töötuse tulemites globaalse standardi järgi toimunud Praha-Emsi aegne diversiteedi tõus ning samuti Frasnese lademe suurem mitmekesisus. Töötuse andmetest ilmnev Emsi-Eifeli ning Givet' lademes toimunud fauna mitmekesisustumine on ilmselt seotud kohalikest geoloogilistest tingimustest (rohked paljandid) tuleneva leidude rohkusega. Kõrge mitmekesisusega on akantoodide rühm, kelle puhul on samuti näha järk-järgulist mitmekesisustumise trendi, mis paraku lõpeb järsult Givet' lademes ning akantoodid kaovad Frasnese lademe alguses täielikult. Globaalse standardi järgi peaks akantoodide arvukus järk-järgult kasvama Frasnese lademeni, kuid Ülem-Devoni andmekogum on väga väike.

Perekondade levikumodelite võrdlusel kohaliku levikustandardiga (Lukševics et al. 2010) ilmnasid suured kattumised levikupiltides (Joonis 9), kuid leidsid ka suuri lahkkelisid. Antud juhul pole paraku võimalik võrrelda kõiki töötuses osalenud andmeid, vaid kirjeldatud ühisosa. Selle näitel, BL töötuse mudel näitab kaheksa perekonna levikuintervallid mudelist täiesti erinevad. Nelja perekonna esinemistsooni puhul esineb kerge ülekate töötuse tulemuste ning eelnevalt kirjeldatud levikuintervallide vahel, kuid kirjeldatud levikuintervallid on töötuse tulemites ja publitseeritud kohalikus levikustandardis selgelt erinevad. Tervelt 29 perekonna puhul olid eksisteerimisintervallid omavahel võrdlemisi hästi kooskõlas.

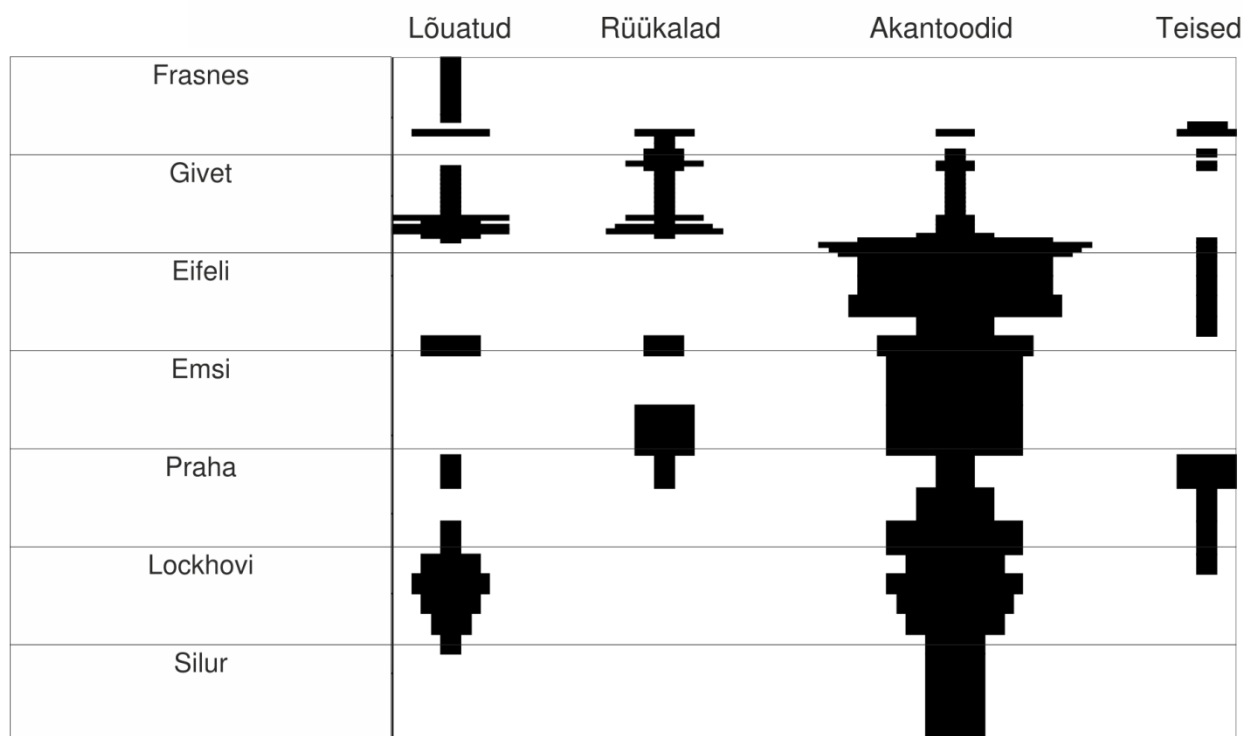
Kuigi kohati esinevad tulemites perekondade levikuintervallid on kitsad, säilib siiski kooskõla kohaliku levikustandardiga. Lühikesed levikuintervallid tulemites võivad olla

tingitud kas reaalsest bioloogilise mitmekesisuse vaheldumisest või vähese materjali esinemisest töötuse sisend andmetes.

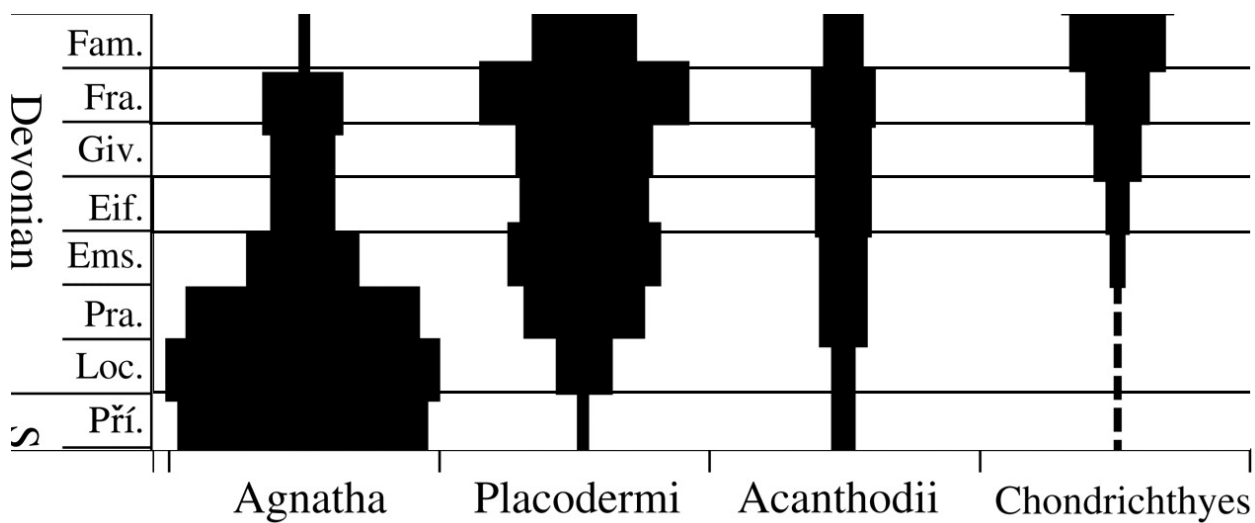
BL bioloogiline mitmekesisus



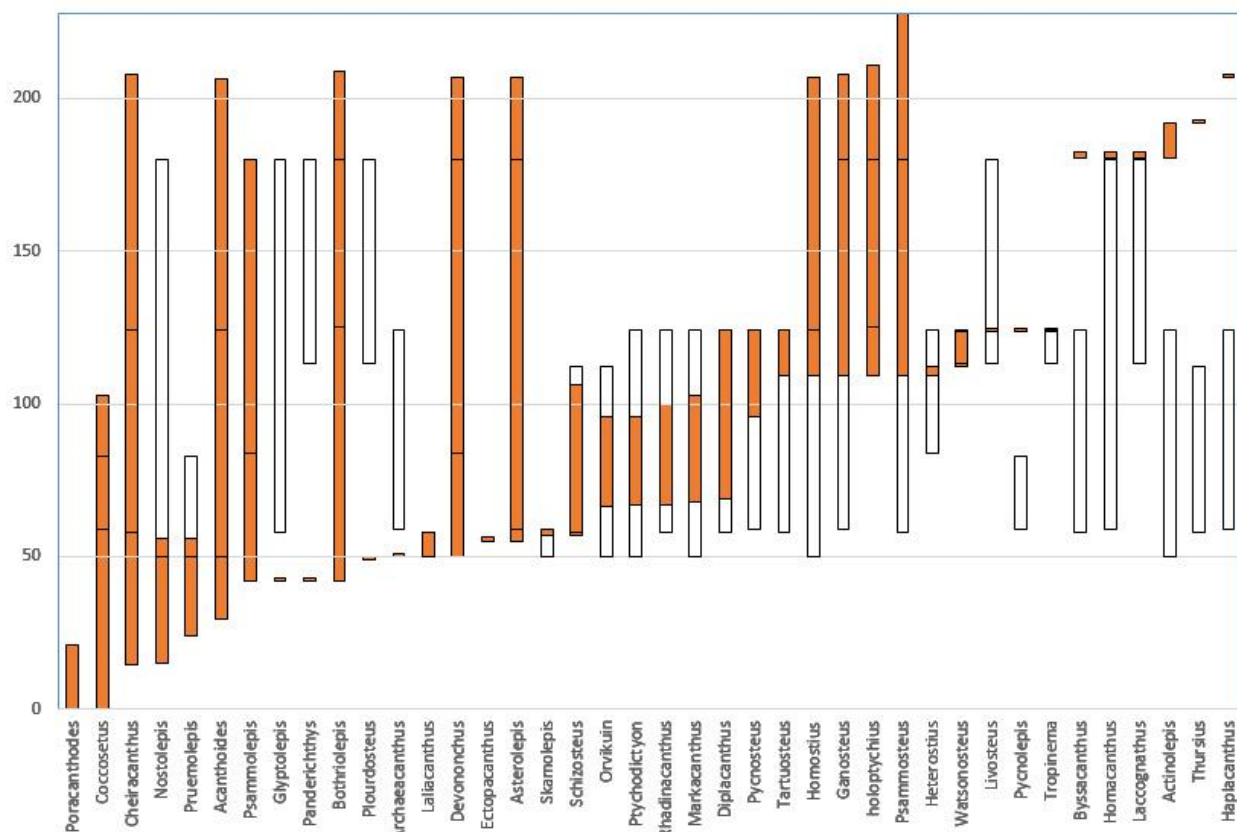
Joonis 6: BL töötuse mitmekesisuse analüüsi tulemused. Mudeldatud üle viie astme



Joonis 7: BL töötuse poolt kirjeldatud mitmekesisus



Joonis 8: erinevate klasside mitmekesisuse geoloogilise aja levikupildid (lõik allikast: Lamsdell & Braddy, 2009, Joonis 2)



Joonis 9: perekondade levikupildi erinevused täheldatu ning BL töötamise tulemuste vahel. Punane joon tähistab BL töötamise tulemusi, must kontuurjoon tähistab registreeritud (Lukševics et al. 2010) levikut Eifel'i ja Givet' (vahemik 50-182) lademetes

7. Arutelu

Tegemist on esimese Devoni ladestu uurimise katsega kvantitatiiv-biostratigraafiliste meetoditega ja tulemused on vaid osaliselt kooskõlas muudest allikatest pärineva ettekujutusega taksonite levikust Devonis ning ladestu stratigraafilisest liigestusest.

Ligi pooled kasutatud liikidest olid töötlemises sattunud oma tegeliku esinemise tsooni. Varasemaid esmailmumisi ning muid ebatäpsusi levikuandmetes ei saa kindlasti välistada, kuid nende tuvastamine ja analüüs eeldaks tulemuste paremat sobitumist olemasoleva stratigraafilise liigestusega. Andd kujul sobib tulemus siiski mitmekesisuse muutuste üldiste trendide kirjeldamiseks.

Tsonaalsete taksonite hulk erinevates andmekogumites on suure varieeruvusega. Kokku on teada 26 taksonit, mida on võimalik kasutada mõne kindla lademe piiri määramiseks, neist kaks aga puuduvad selle töö jaoks loodud andmebaasis ning seitsme kohta puuduvad levikuandmed Eestist. Lisaks, seitsme tsonaalse taksoni puhul on andmebaasis kirjete arv vaid üks, mis tähendab, et nende kasutamine on võimalik vaid toetava tehisandmestiku („tehisliku läbilõike“) lisamise korral, mida selles töös ka tehti. Kui andmetest eemaldada „tehislik läbilõige“ kõigi oma toetavate tsonaalsete taksonite esinemisintervallidega, ei suutnud CONOP algandmetest tuletada loogilist lademe järjestust. Seega on andmed Devoni ladestust täna veel liialt lünklikud sidusa stratigraafilise liigestuse loomiseks ilma abistavate võtete rakendamiseta.

Vaatamata kõigile puudustele peegeldavad töötluse tulemused mingil määral globaalseid biodiversiteedi muutusi. Võrreldes tulemusi globaalse mitmekesisuse kõveratega ilmneb, et töötluse tulemustes on meie piirkonna akantoodide mitmekesisus võrreldes lõuatute ja rüükalade omaga äärmiselt kõrge (Joonis 7, Joonis 8). Kuigi erinevate taksonite mitmekesisuse mudel on „lünklik“, on suuremad sündmused siiski aimatavad. Nii näiteks oli tulemustes kajastatud Lockhovi lademe kõrge lõuatute mitmekesisus ning selle hilisem vähenemine. Samuti oli võimalik täheldada rüükalade ja lõuatute mitmekesisustumist Givet' lademes, kuid antud juhul võib see tuleneda lokaalsest geoloogilistest teguritest. Sellesse vahemikku langevad Aruküla ja Burtnieki lade, mille paljandeid on Eestis palju ning mille paleontoloogilist materjali on paljanditest kogutud juba peaaegu kaks sajandit (Kleesment, 2003). Lisaks ei peegeldunud antud töös loodud mudelis akantoodide kõrge mitmekesisust Givet' lademes, nagu globaalne mudel seda kajastab. See on arvatavasti tingitud puudulikust materjalist, sest kui vaadata töötluses genereeritud leiukohtade levikuintervalle (Lisa 5), paistab silma Ülem-Devoni vähene esindatus.

Kõige arvukamalt esines Aruküla ja Burtnieki lademe leiukohti, lisaks olid liigirikkaimate paljanditega Aruküla lademe leiukohad on Svedasai puurauk, Mehikoorma 421 puurauk, Tartu 10 puurauk, Tamme pank ja Aruküla koopad. See paraku ei tõsta nende stratigraafilise asendi määramise täpsust töötluse tulemustes. Aruküla lademe üksused omavad tulemustes suurt kattuvust peaaegu kõigi Kesk-Devoni lademetega (Lisa 5), omades seejuures ka kõige suuremat hajuvust. Sarv andmebaasi andmete alusel paigutusid leiukohad tulemustes kronostratigraafiliselt enam-vähem õigetes lademetesse või nende lähistele. Mõnel juhul paigutusid leiukohad aga töötluse tulemustes „kesktelje“ suhtes õigele kaugusele, kuid vales suunas. Nõnda võis leida Pärnu lademe üksuseid Plavinase lademest, Narva lademe üksuseid Amata lademest ja Aruküla lademe üksuseid Gauja lademest. Ilmselt on põhjuseks asjaolu, et

andmekogumis on liiga vähe koosinemisi Devoni vanematest ja noorematest kihtidest ning marginaalsete leidude paigutuses hakkab domineerima juhuslik element

Kuigi erinevaid kirjeid andmebaasis oli kokku 769, jäi neist alles vaid 506 kasutuskõlblikku kirjet. Allesjäänutest 42% leiukohtadest esines vaid üks takson, mis ei parandanud töötluste tulemusi, ning 25% oli registreeritud leiukoha kohta vaid kaks taksonit. Lisaks võimalike kasutatavate taksonite arvukus on CONOP algoritmi jaoks väike ning harva leidub informatsiooni erinevate taksonite leiukõrgustest paljandite puhul. Eelnevale tuginedes, on tulemused võrdlemisi edukad, kuid kasutuskõlblike andmete lisandumisel vajaksid tulevikus täiendavat uurimist.

8. Kokkuvõte

Töö käigus loodi ulatuslik andmebaas, mis käsitleb piirkondlike Devoni vertebraatide leide ning leiukohti. Kasutades CONOP tarkvara, loodi andmebaasi põhjal eksperimentaalne Devoni liigestusstandard ning viidi läbi konfliktotsing, tuginedes teadmistele kohalikust stratigraafiast. Antud tulemuste põhjal kirjeldati lokaalset Devoni kalade mitmekesisust ning selle muutuseid ajas.

Läänemere äärsetel aladel on vertebraatide uurimisega tegeletud juba üle kahe sajandi. Nende kahe sajandi pikkuse töö viljad on kogutud sellesse töösse ning andmebaasi loomise käigus koguti üle 3700 vertebraatide leide käsitleva kirje, millest duplikaatide ja üksikute taksonite välja sõelumisel jäi alles 673 erinevat unikaalset kirjet. Liigi tasandil määrangutega oli tegemist neist 506 juhul. Leiukohti, kust on teada vähemalt üks liigi tasandi takson, esines Läänemere äärsetel idapoolsetel aladel kokku 166.

Uuringu tulemustes on kõige paremini kajastatud Kesk-Devoni ja mingil määral ka Alam-Devoni stratigraafiline liigestus. Ülem-leide oli andmekogumis vähe ning seda on näha ka tulemuste võrdlemisel Sarv andmebaasi andmestikuga.

Töötluste hindamise aluseks oli võrdlus reaalse geoloogilise andmestikuga andmebaasides. Erinevate andmekogude töötlustest andis kõige realistlikuma tulemuse BL

andmekogu töötlemine. Tulemuste täpsus oli kõigi töötluste puhul kõrgem Kesk-Devoni osas, madalam Alam-Devoni osas ning oluliselt madalama kvaliteediga Ülem-Devoni osas. Probleeme esines Kemerilademe ning Ülem-Devoni lademetel määramisega, mis võib olla seotud väheste tsonaalsete taksonite esinemisega ning detailselt kirjeldatud ja hästi dateeritud leiukohtade puudumisega. Tulemuste võrdlemisel geoloogiliste andmetega ilmnes suuri lahknevusi, mis arvatavasti osutavad CONOP töötluste jaoks mitte kõige paremini sobivale andmestruktuurile. CONOP algoritmil põhineva töötluste puhul on soovituslik omada leiukohtade ja taksonite suhet vähemalt 1:3. Antud töös on see suhe 3:2.

Tuginedes andmete grupiviisilisele tõlgendamisele klasside põhisel, näitavad tulemused mitmekesisuse maksimumi Aruküla lademe basaalses osas, mida „vedas“ akantootide kõrge mitmekesisus. Sellele järgnes Burtneki lademe alumises osas akantoodide liigilise mitmekesisuse langus, millega kaasnes rüükalade ja lõuatute liikide mitmekesisusetõus.

BL tulemustes korreleerub grupi dünaamika suhteliselt hästi globaalse mitmekesisusega, kui välja arvata akantoodide mitu korda suurem mitmekesisus võrreldes lõuatute ja rüükalade omadega. Globaalse mitmekesisuse andmetega ei ole heas kooskõlas akantoodide mitmekesisuse järsk langus Givet' lademes. Lisaks ei peegelda globaalse biodiversiteedi andmed töötluste tulemustes ilmnevat Givet' eal toimunud järsku lõuatute ja rüükalade mitmekesisustumist. See võib olla tingitud meie piirkonna leiukohtade parema uurituse ja esinduslikuma materjaliga, mis on kogutud viimase paari sajandi jooksul.

Kuigi tulemused peegeldavad osaliselt globaalse mitmekesisuse trende, on kogutud andmete hulk siiski liiga väike, et tulemus oleks kasutatav Devoni ladestu liigestusstandardina. Antud töö väärib jätkamist. Perspektiivseimaks allikaks on siin muuseumikollektsioonid, kuid nende läbitöötamine olnuks magistritöö valmimise ajaraame silmas pidades kaugelt liiga ajamahukas

Akronüümid

BKT – Balti kõigil taksonitel (k.a. perekonnad) põhinev töötlus

BL – Balti alade liikide leidudel põhinev töötlus

BL2wt – sama mis BL2_min, kuid pole kaasatud tehislikku paljandit tsonaalsete taksonitega.

BL2_min – käsitleb vaid Balti alade materjali, kus puuduvad *cf* liitega ning avatud nomenklatuuriga taksonid

BL3wt – sama mis BL3_min, kuid pole kaasatud tehislikku paljandit tsonaalsete taksonitega

BL3_min – sama mis BL2_min, kuid kaasatud on vaid need liigid, millel teada vähemalt kolm esinemist

EKT – Eesti kõigil taksonitel (k.a. perekonnad) põhinev töötlus

EL – Eesti liikide leidudel põhinev töötlus

Kasutatud kirjandus

- Edwards, 1982. „Quantitative Biostratigraphy“. [\[http://members.iif.hu/pal7413/6/Edwards_quantbiostrat.pdf\]](http://members.iif.hu/pal7413/6/Edwards_quantbiostrat.pdf)
- Gradstein, F., M., 2004. „Quantitative Methods for Applied Microfossil Biostratigraphy“. Geology Museum, University of Oslo.
- Hammer O., Harper, D., A., Ryan, P., D., 2001, „Past: Paleontological Statistics Software Package For Education And Data Analysis“, Palaeontological Association
- Ivanov, A., Märss, T., 2014. New data on *Karksiodus* (Chondrichthyes) from the Main Devonian Field (East European Platform). Estonian Journal of Earth Sciences, 63, 3, 156-165
- Ivanov, A., Märss, T., Kleesment, A., 2011. A new elasmobranch *Karksiodus mirus* gen. et sp. nov. from the Burtneki Regional Stage, Middle Devonian of Estonia. Estonian Journal on Sciences, 60, 1, 22-30
- Kleesment, A., 2003. „Lõhest liivakivis saab koobas“. Eesti Loodus 07-08/2003 [\[http://www.loodusajakiri.ee/eesti_loodus/artikkel437_415.html\]](http://www.loodusajakiri.ee/eesti_loodus/artikkel437_415.html)
- Lamsdell, J., C., Braddy, S., J., 2009. „Cope’s Rule and Romer’s theory: patterns of diversity and gigantism in eurypterids and Palaeozoic vertebrates“. DOI: 10.1098/rsbl.2009.0700
- Lemon, R., R., 1990, „Principles of stratigraphy“. Merrill Publishing Company
- Long, J. A., 2011. The rise of Fishes – 500 Million Years of Evolution. Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA; UNSW Press, Australia. 288pp, HB. 2nd edition
- Lukševics, E., Lebedev, O., A., Zakharenko G., V., 2010. „Palaeosoogeographical connections of the Devonian vertebrate communities of the Baltica Province. Part I. Eifelian-Givetian“ Palaeoworld 19 (2010) 94-107

Mark-Kurik, E., 2000. The Middle Devonian fishes of the Baltic States (Estonia, Latvia) and Belarus. Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 223: 309,324.

Mark-Kurik, E., 2007. "Distribution of Devonian fossils, Tsiistre (327) drill core". (Põldvere, A., ed.) Estonian Geological Sections, 19-20

Mark-Kurik, E., Põldvere, A., 2012. Devonian stratigraphy in Estonia: current state and problems. Estonian Journal of Earth Sciences, 2012, 61, 1, 33-47

Murphy, M., A., Salvador, A., 2000, „Rahvusvaheline stratigraafia juhis: Lühendatud versioon“
Tõlkinud: Rubel, M., Rahvusvaheline Geoloogiateaduste Liit (IUGS)
[http://stratigraafia.info/materjalid/STRAT_JUHIS.pdf]

Märss, T., Kleesment, A., Niit, M., 2008. *Karksilepis parva* gen. et sp. nov. (Chondrichtyes) from the Burtnieki Regional Stage, Middle Devonian of Estonia. Estonian Journal on Earth Sciences, 57, 4, 219-230

Nestor, V., et al. 2005. „Devonian and topmost Ordovician fossils (fishes, vertebrates, conodonts) of the Mehikoorma (421) core“. Estonian Geological Sections. App. 20

Nestor, V., et al. 2003. „Ruhnu (500) drill core“. Estonian Geological Sections. App

Prothero, D., R., 2013. „Bringing Fossils to Life: An Introduction to Paleobiology“. Columbia University Press

[<https://books.google.ee/books?id=xcRcAQAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>]

Puura, I., Tinn, O., 2012. „Madis Rubel“ Eesti loodus.

[http://www.eestiloodus.ee/artikkel4358_4314.html]

Raukas, A., Teedumäe, A. (eds). 1997. Geology and Mineral Resources of Estonia. Estonian Academy Publishers, Tallinn. 436 pp. ISBN 9985-50-185-3

Rõõmusoks, A., 1983 Eesti aluspõhja geoloogia. Tallinn, „Valgus“ 223 lk

Sadler, P., M., 2002, „Constrained Optimization Approaches To The Paleobiologic Correlation And Seriation Problems: A User's Guide And Reference Manual To The Conop Program Family“, Department of Earth Sciences, University of California.

[<http://www.geobiodiversity.com/DownloadView.aspx?ID=6>]

Sadler, P., M., 2010 „Biochronology As A Traveling Salesman Problem: Introduction To The Conop9 Seriation Programs“, Department of Earth Sciences, University of California

Sarv andmebaas: Eesti geokogude infosüsteem ja andmerepositoorium [e-andmebaas: <http://sarv.gi.ee>] (4.01.2015)

Sorokin, V., S., Lyarskaya, L., A., Savvaitova L., S., 1981. „Devon i karbon Pribaltiki“. Ministerstvo gazovoj prom'yshlennosti SSSR, VNII morskoy geologii i geofiziki, Pribaltiyskaya mezhhvedomstvennaya sstratigraficheskaya komissiya, sektsiya devona i karbona.

Valiukevicius, J., 1998. “Tartu (453) drillcore”. (Pöldvere, A., ed.) Estonian Geological Sections, App. 8-9

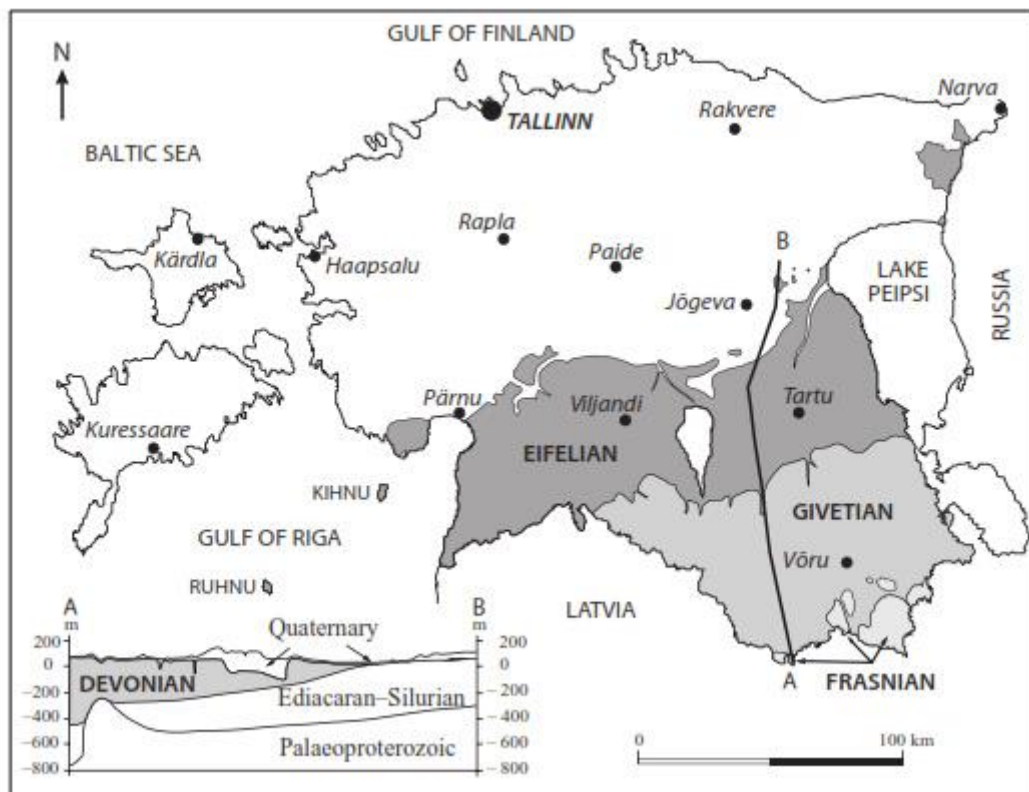
Valiukevicius, J., Kleesment, A., 2001. “Fossils in Devonian strata of the Valga (10) core” (Pöldvere, A., ed.) Estonian Geological Sections, App. 2

Valiukevicius, J., Kleesment, A., 2003. “Acanthodians in the Narva Stage (Devonian strata) of the Ruhnu (500) core” (Pöldvere, A., ed.) Estonian Geological Sections, App. 12

Valiukevicius, J., Kleesment, A., 2005. "Frequency of occurrence of Devonian Fossils in the Mehhikoorma (421) core" (Pöldvere, A., ed.) Estonian Geological Sections, App. 21

Lisad:

Lisa 1: Eesti Devoni liigestus (Mark-Kurik & Põldvere 2011) rahvusvaheliste üksuste (Eiffelian, Givetian, Frasnian) läbi, ning lihtsustatud läbilõige (A-B) Devoni alla jäävast aluspõhjast (Palaeoproterozoikum, Ediacara, Kambrium, Ordoviitsium, Silur, Devon)



Lisa 2a: Eesti regiooni Devoni ajastu (Kurik & Pöldvere 2011) stratigraafiline tabel
biotsoonidega.

AGE Ma		GLOBAL STANDARD									
A	B	SYSTEM	SERIES	STAGE	BIOZONES						
		DEVONIAN	C	M		CONODONTS	MIOspores	AGNATHANS	PLACODERMS	ACANTHODIANS	
359.2	360.7		UPPER DEVONIAN	FRASNIAN							
374.5	376.1				<i>hassi</i>	<i>Geminospora semilucensa– Perotritiles donensis</i>	<i>Psammosteus megalopteryx</i>	<i>Plourdosteus trautscholdi</i>			
					<i>punctata</i>						
					<i>transitans</i>						
385.3	383.7				<i>falsiovalis</i>	<i>Acanthotritiles bucerus– Archaeozonotritiles variabilis insignis</i>		<i>Bothriolepis cellulosa</i>			
			<i>disparilis</i>	<i>Ancyrospora incisa– Geminospora micromanifesta</i>	<i>Psammolepis paradoxa</i>					<i>B. obrutschevi B. prima</i>	<i>Devononchus concinnus</i>
			<i>hermanni– cristatus</i>								
<i>varcus</i>	<i>Geminospora extensa</i>		<i>Psammolepis abavica</i>			<i>Watsonosteus</i>	<i>Asterolepis dellei</i>	<i>Diplacanthus gravis</i>			
<i>hemiansatus</i>				<i>Pycnosteus tuberculatus</i>							
					<i>Pycnosteus pauli</i>						
			<i>P. palaeformis</i>								
391.8	388.1		MIDDLE DEVONIAN	EIFELIAN	<i>ensensis eiflii kockelianus</i>	<i>Rhabdosporites langii</i>	<i>Schizosteus striatus</i>	<i>C. cuspidatus</i>	<i>N. kernavensis</i>		
					<i>australis</i>				<i>Ptychodictyon rimosum</i>		
					<i>costatus</i>	<i>Dibolisporites radiatus</i>			<i>Cheiracanthoides estonicus</i>		
					<i>partitus</i>	<i>Periplecotritiles tortus</i>	<i>Schizosteus heterolepis</i>		<i>Laliacanthus singularis</i>		
397.5	391.9		LOWER DEVONIAN	EMSIAN	<i>patulus serotinus inversus nothoperbonus gronbergi dehiscens</i>	<i>Diaphanospora inassueta</i>	<i>Skamolepis fragilis</i>				
									<i>Gomphonchus tauragensis</i>		
407.0	409.1		PRAGIAN	<i>pireneae kindlei sulcatus</i>	<i>Emphanisporites annulatus</i>						
					<i>Dictyotritiles eminensis</i>						
411.2	412.3		LOCHKOVIAN	<i>pesavis delta postwoschmidti woschmidti</i>	<i>Synorisporites tripapillatus</i>	<i>Phialaspis</i>			<i>Nostolepis minima</i>		
416.0	418.1		S	Pr							

Lisa 2b: Eesti regiooni Devoni ajastu (Kurik & Pöldvere 2011) stratigraafiline tabel kohaliku liigestusega.

REGIONAL STANDARD			MAIN LITHOSTRATIGRAPHICAL UNITS (FORMATIONS)			NOTATION		
SERIES	STAGE (RS)	SUBSTAGE	SE ESTONIA	SW ESTONIA	NE ESTONIA	STAGE	FORMATION	MEMBER
UPPER DEVONIAN	DAUGAVA		DAUGAVA			D ₃ dg	D ₃ dg	
	DUBNIK		DUBNIK			D ₃ db	D ₃ db	
	PĻAVIŅAS		CHUDOVO			D ₃ pl	D ₃ ch	
			PSKOV				D ₃ ps	
			SNETNAYA GORA				D ₃ sn	
MIDDLE DEVONIAN	AMATA		AMATA			D ₂ am	D ₂ am	
	GAUJA		Lode Mb GAUJA Sietiņi Mb			D ₂ gj	D ₂ gj	D ₂ gjL D ₂ gjS
	BURTNEKI		Abava Mb BURTNIEKI Koorküla Mb Härma Mb			D ₂ br	D ₂ br	D ₂ brA D ₂ brK D ₂ brH
	ARUKÜLA		Tarvastu Mb ARUKÜLA Kureküla Mb Viljandi Mb			D ₂ ar	D ₂ ar	D ₂ arT D ₂ arK D ₂ arV
	NARVA	KERNAVĒ	KERNAVĒ			D ₂ nr	D ₂ kr	
		LEIVU	LEIVU				D ₂ lv	
		VADJA	VADJA				D ₂ vd	
	PÄRNU		Tamme Mb PÄRNU Tori Mb			D ₂ pr	D ₂ pr	D ₂ pr Tm D ₂ pr T
	RĒZEKNE		RĒZEKNE	LEMSI		D ₁ rz	D ₁ rz / D ₁ lm	
	ĶEMERI		ĶEMERI			D ₁ km	D ₁ km	
LOWER DEVONIAN	TILŽĒ		TILŽĒ			D ₁ tl	D ₁ tl	
	OHESAARE		OHESAARE					

Lisa 3: Töõtluse parameetrid BL töõtluse näitel

```

&getinn
PROJECT='Balti Devon no genus (BL): 13-APR-16'
SECTIONS=167
TAXA=106
EVENTS=0
MAX_LEVELS=100
MAX_LABELS=30
LOADFILE='Inputdata.dat'
PREPFILE='prepfile.dis'
SECTFILE='sections.sct'
SECTTAGFILE='OFF.tag'
SECTTAGS='OFF.dat'
LABELFILE='OFF.lbl'
EVENTFILE='events.evt'
EVENTTAGFILE='OFF.tag'
EVENTTAGS='OFF.dat'
BESTKNOWN=0.000
/

&getans
PENALTY='LEVEL'
LETCONTRACT='OFF'
WEIGHTING='ON'
USENEGATIVE='OFF'
NEARENOUGH=5.000
EXCLUSIVES='YES'
FORCECOEX='SS'
FORCEfb4L='ON'
HOMERANGE='SL'
SMOOTHER=0.000
SQUEEZER=0.000
SHRINKER=0.000
TEASER=1.0
STACKER='COEX'
/

&getrun
SOLVER='anneal'
STEPS=500
TRIALS=1000
STARTEMP=300.00
RATIO=0.98
HOODSIZE='BIG'
STARTYPE='RAND'
STARTSECT=1
STARTEVENT=0
SHOWMOVIES='CHT'
TRAJECTORY='ALL'
VIDEOMODE='SVGA'
PAUSES='OFF'
CURVFILE='grid.grd'
CRV2FILE='grd2.gr2'
/

&getout
COLUMNS=7
UNLOADMAIN='outmain.txt'
FITS_OUT='ON'
CNFG_OUT='ON'
SEQN_OUT='ON'
INCR_OUT='ON'
LOC_OUT='ON'
OBS_OUT='ON'
COMP_OUT='ON'
UNLOADSECT='outsect.txt'
SECT_OUT='OFF'
UNLOADEVNT='outevnt.txt'
EVNT_OUT='ON'
COEX_OUT='COUNT'
RUNLOGFILE='runlog.txt'
CULLFILE='cull.txt'
SOLNLIST='OFFsolution.sln'
STARTFILE='soln.dat'
STEPFILE='OFFstepsoln.dat'
BESTARTFILE='bestsoln.dat'
COMPOFILE='cmpst.dat'
COMPOSNMBR=1
COMPOSTYPE='ZST'
OBSDFILE='ab.dat'
PLCDFILE='albet.dat'
EXTNFILE='delta.dat'
COEXISTFILE='coex.dat'
FAD_LADFILE='fb4l.dat'
ORDERFILE='ordr.dat'
/

```

Lisa 4: tabel BL leiukohtade korrelatsiooni legendiga:

Lade (Sarv andmebaasi määrang)	Lühend	Leiukoht	Erinevate taksonite levik
Tilze	'Dub'	'Dubovskoje puurauk'	2
	'Lää'	'Läänemetsa'	1
	'Mad'	'Madona'	1
	'Ven'	'Ventspils D-3 puurauk'	6
	'Vär'	'Värska'	1
Pärnu	'Vil'	'Viljandi'	1
	'Oor'	'Oore meierei paljand'	1
	'Oor'	'Oore veski paljand'	3
	'pa.'	'pa. 43, Reiu jõe vasakul kaldal, suudme lähedal.'	1
	'Tor'	'Tori Põrgu'	8
	'Val'	'Valga 10 puurauk'	21
Narva	'Ees'	'Eesti Soojuselektrijaama ehitussüvend'	2
	'Gor'	'Gorodenka kärestiku paljandid'	8
	'Gor'	'Gorodenka oja ülemised paljandid'	1
	'Ill'	'Illi borehole, Estonia, near Vastseliina'	1
	'Kio'	'Kioma 291 puurauk'	1
	'Kul'	'Kulu paljand'	1
	'Muu'	'Muuga paljand'	4
	'Nar'	'Narva jõe Devoni paljand'	1
	'Nar'	'Narva karjäär'	1
	'Nar'	'Narva karjäär, läänepoolne дренаazišaht'	3
	'Por'	'Poruni jõe paljandid'	2
	'Por'	'Poruni silla paljandid Borovnja'	1
	'Vär'	'Värska 1 puurauk'	1
	'Vär'	'Värska 29 puurauk'	1
Aruküla	'Aar'	'Aardla küla'	3
	'Abj'	'Abja 92 puurauk'	1
	'Aru'	'Aruküla koopad'	9
	'Dek'	'Dekshino 328 puurauk'	1
	'Kaa'	'Kaagvere 1 puurauk'	2
	'Kal'	'Kallaste kalmistu pank'	1
	'Kal'	'Kallaste paljand'	2
	'Kar'	'Karksi paljand'	18
	'Kav'	'Kavilda paljand'	2
	'Lat'	'Latvia, Salaca River, downstream Mazsalaca 5 km'	5

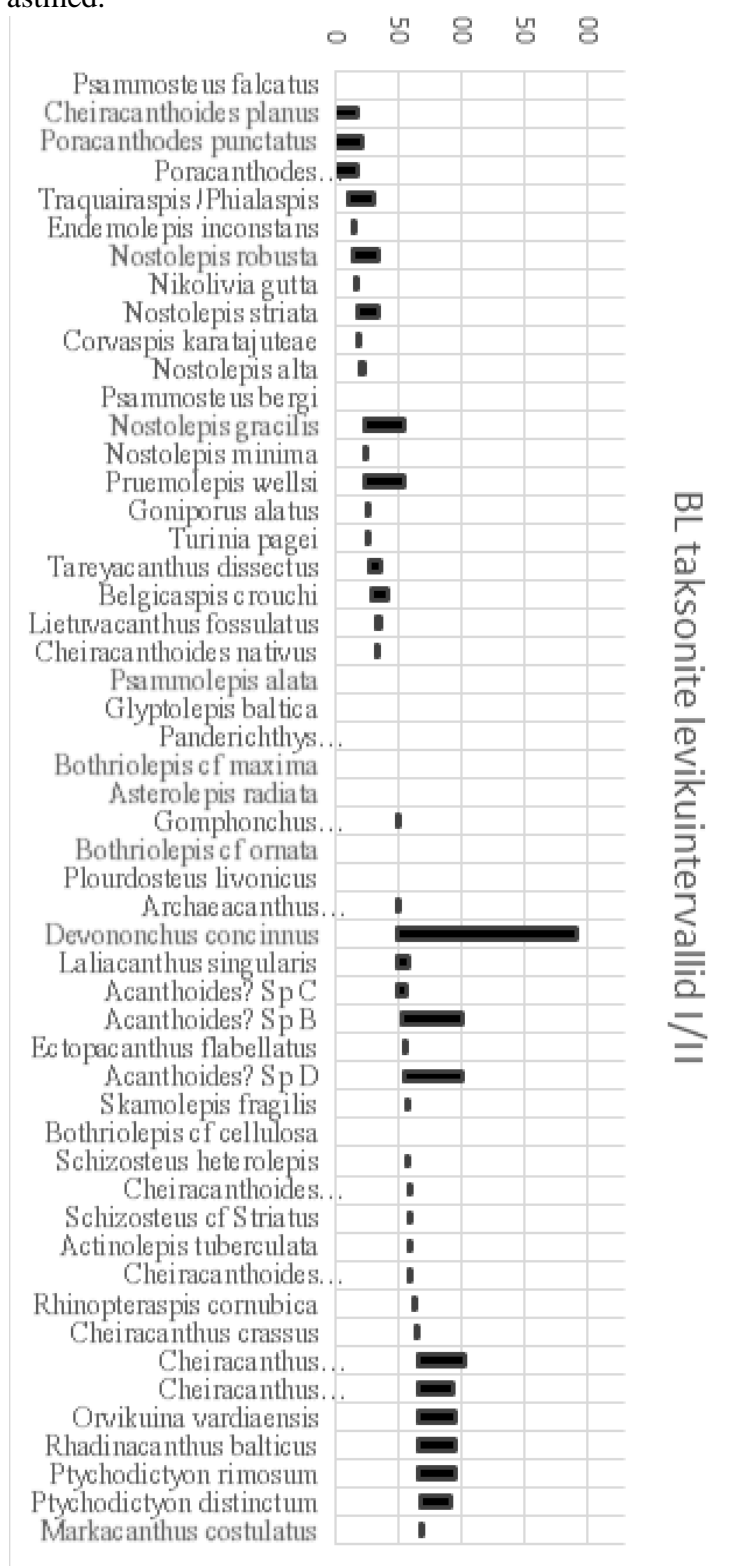
	'Mõr'	'Mõra oja kalda paljand'	8
	'Püh'	'Pühajõgi, Võrumaa'	1
	'Sig'	'Sigulda'	1
	'Sul'	'Sulbi paljand'	2
	'Tam'	'Tamme pank'	14
	'Tar'	'Tartu'	1
Aruküla	'Tar'	'Tartu 453 puurauk'	12
	'Tar'	'Tartu Kalmistu paljand'	2
	'Täh'	'Tähtvere paljand'	5
	'Vap'	'Vapramäe allikakoobas'	1
	'Õis'	'Õisu paljandid'	2
Burtneki	'Aba'	'Abava paljand'	2
	'Bra'	'Braslav 8 puurauk'	1
	'Ess'	'Essi ja ratta müür'	2
	'Ess'	'Essi müür'	1
	'Här'	'Härma paljand'	4
	'Joo'	'Joosu savikarjäär'	2
	'Lat'	'Latvia, Raksti near Cesis, Gauja River basin'	2
	'Lat'	'Latvia, Ramnieki'	1
	'Lej'	'Lejēji paljand'	4
	'Maz'	'Mazsalaca 10K puurauk'	2
	'Ram'	'Ramnieki, Gauja River, Latvia'	1
	'Rat'	'Ratta müür'	3
	'Reo'	'Reo müür'	2
	'Vel'	'Velna kancele paljand'	1
	'Vez'	'Vezramnieki paljand'	4
	'Voo'	'Vooru paljand'	2
Gauja	'Ehr'	'Ehrmani, Gauja River Latvia'	1
	'Gau'	'Gauja jõgi, Lāti'	2
	'Jök'	'Jõksi müür'	5
	'Kal'	'Kalmetumägi'	4
	'Kuk'	'Kuku pank Gauja jõel'	2
	'Lat'	'Latvia, 100m from Vaive Watermill'	2
	'Lat'	'Latvia, Brasla River Outcrop between power station and Droksi'	1
	'Lat'	'Latvia, Brasla River, 1.5 km from Straupe'	1
	'Lat'	'Latvia, Brasla River, power station'	2
	'Lat'	'Latvia, Ermani outcrop, Gauja River'	1
	'Lod'	'Lode karjäär'	5
	'Vas'	'Vastseliina paljand'	5
Määramata	'Alu'	'Aluksne 99 puurauk'	4
	'Ama'	'Amata tüüppaljand'	2
	'Ata'	'Atashiene 9 puurauk'	4

	'Bal'	'Baltinava 17 puurauk'	6
	'Bal'	'Baltinava 83 puurauk'	2
	'Bra'	'Braslav 6 puurauk'	3
	'Bur'	'Burtnieki, Latvia'	1
	'But'	'Butkunai'	1
	'Dvo'	'Dvoriki 2 puurauk'	3
Määramata	'Fil'	'Filino 1 puurauk'	3
	'Gar'	'Gargšdajskoi 19 puurauk'	1
	'Gar'	'Garzde 1 puurauk'	1
	'Gel'	'Geluva 99 puurauk'	2
	'Glu'	'Glubokoe 15 puurauk'	3
	'Hol'	'Holdre 2 puurauk'	3
	'Jag'	'Jagelonis'	1
	'Juk'	'Juk jaunautse puurauk'	1
	'Jök'	'Jöksī ja Vastseliina-Meeksi'	15
	'Kaa'	'Kaavi 568 puurauk'	2
	'Kaa'	'Kaavi 571 puurauk'	2
	'Ket'	'Ketleri, Venta jõe paljand'	2
	'Klu'	'Klunas, Skuene jõe paljand'	2
	'Kol'	'Kolka 54 puurauk'	3
	'Kre'	'Krekenava 7 puurauk'	3
	'Kri'	'Kriukai 146 puurauk'	3
	'Krj'	'Krjakjanava puurauk'	6
	'Krj'	'Krjukai'	1
	'Kst'	'Kstovo 21 puurauk'	2
	'Kun'	'Kuningaküla 6826 puurauk'	1
	'Kun'	'Kuningaküla 6949 puurauk'	1
	'Kun'	'Kuningaküla 6950 puurauk'	1
	'Kun'	'Kunkojai 12 puurauk'	10
	'Kur'	'Kurtuvenai 162 puurauk'	3
	'Lat'	'Latvia, Amata River, 1 km from Riia road bridge'	1
	'Lat'	'Latvia, Daugava River, opposite Pasta Muiza'	1
	'Led'	'Ledai 179 puurauk'	7
	'Lie'	'Lielvārde loss'	4
	'Lie'	'Liepkalnis 137 puurauk'	2
	'Lig'	'Ligumai'	2
	'Lja'	'Ljadai'	2
	'Loo'	'Loode pank'	1
	'Lud'	'Ludza 15 puurauk'	2
	'Luš'	'Lušni'	1
	'Luz'	'Luzhni 4 puurauk; Lāti'	3
	'Luu'	'Luutsniku 451 puurauk'	6

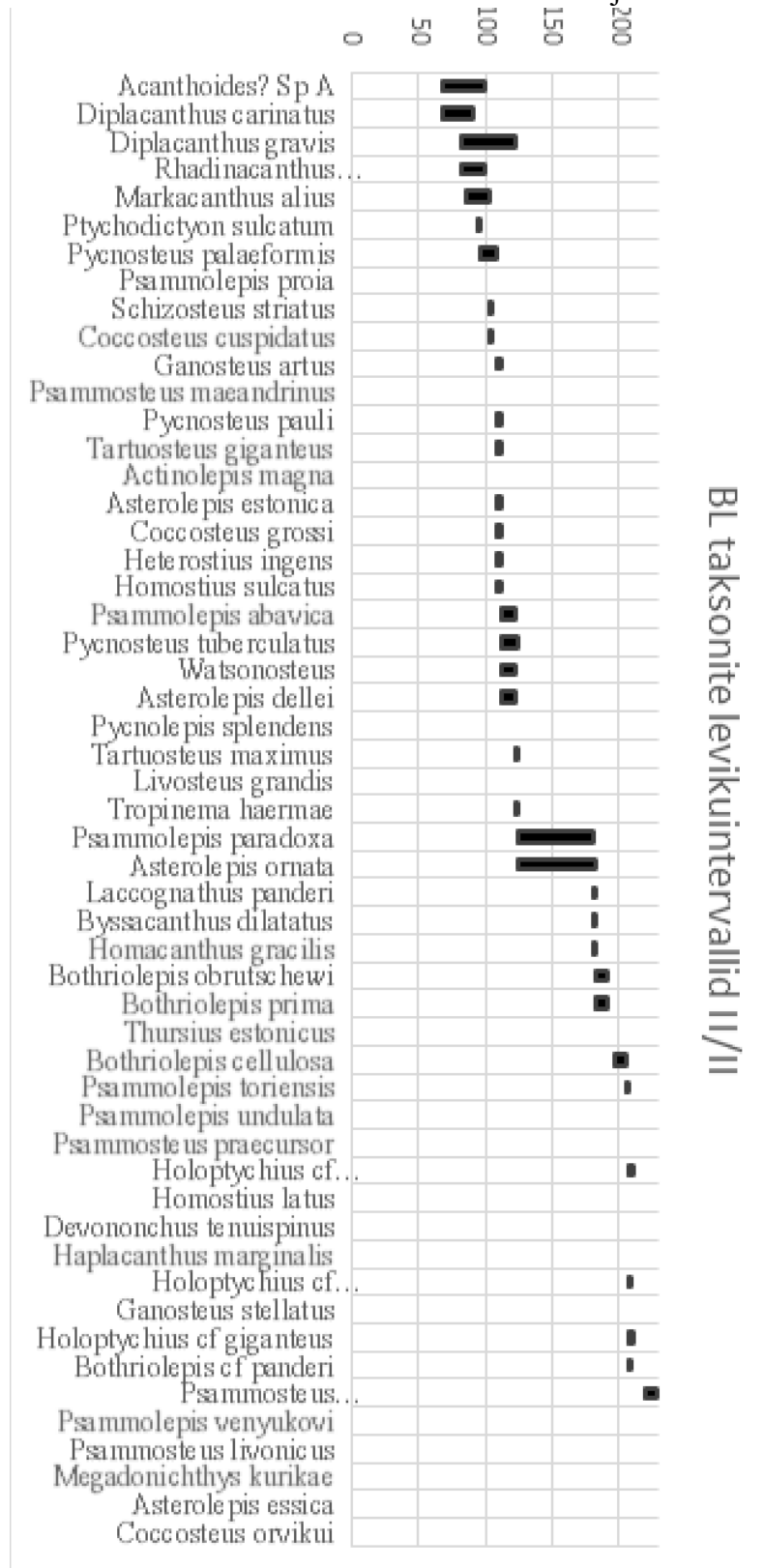
'M L'	'M Lapes'	1
'Mad'	'Madona 93 puurauk'	5
'Meh'	'Mehikoorma 421 puurauk'	17
'Min'	'Minkunai'	1
'Nem'	'Nemanski 2 puurauk'	1
'Nem'	'Nemanski 3 puurauk'	2
'Nem'	'Nemanski 4 puurauk'	1
'Nem'	'Nemanski 6 puurauk'	1
'Nem'	'Nemanski 7 puurauk'	1
'Nem'	'Nemanski 9 puurauk'	1
'Nes'	'Nesterovskaja 3 puurauk'	1
'Nev'	'Nevel'	1
'Nid'	'Nida'	1
'Ohe'	'Ohesaare pank'	2
'Pal'	'Palanga 318 puurauk'	3
'Pal'	'Paljand nr 199a, puuraugu 3236 lähedal?'	5
'Pap'	'Papilvis'	1
'Par'	'Paroveja 9 puurauk'	1
'Pas'	'Pastamuiza paljand'	5
'Pav'	'Pavari, Tsietsere jõe vasak kallas'	1
'Pav'	'Pavilosta 51 puurauk'	2
'Pil'	'Piltene 32 puurauk'	2
'Pri'	'Priekule 20 puurauk'	1
'Pus'	'Pustakiemis'	1
'Puu'	'Puurauk 3236-Lienna. Daumale asula'	4
'Põl'	'Põlva 423 puurauk'	4
'Ris'	'Ristiküla 174 puurauk'	1
'Ruh'	'Ruhnu 500 puurauk'	7
'Sev'	'Severogusevksoi 1 puurauk'	1
'Sev'	'Severogusevksoi 5 puurauk'	1
'Shk'	'Shkilteri 16 puurauk'	1
'Sku'	'Skuodas 40 puurauk'	1
'Sta'	'Staciunai 8 puurauk'	7
'Sto'	'Stoniškjai'	2
'Sve'	'Svedasai 252 puurauk'	9
'Sõr'	'Sõrve 514 puurauk'	1
'Šil'	'Šilute 76 puurauk'	3
'zap'	'zapadnoslavskoi 12 puurauk'	3
'Zap'	'Zapadnoslavskoi 8 puurauk'	1
'Tau'	'Taugare'	3
'Tsi'	'Tsiitre 327 puurauk'	2
'Tše'	'Tšerikov 1 puurauk'	3
'Ukm'	'Ukmerge 10 puurauk'	2

	'Ven'	'Venta ja Riešupe jõed'	1
	'Ven'	'Ventasmuiša, Venta jõe parempoolsel kaldal'	2
	'Vid'	'Vidrizi 10 puurauk'	2
	'Vid'	'Vidukle 63 puurauk'	1

Lisa 6a: BL töötuse taksonite levikuintervallid: esimene pool. Y-teljel kuvatud töötuse astmed.



Lisa 6b: BL töötluse taksonite levikuintervallid: teine osa. Y-teljel kuvatud töötluse astmed.



Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Tavo Ani

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Devoni ladestu liigestus Eestis vertebraatide kvantitatiivse biostratigraafia alustel“

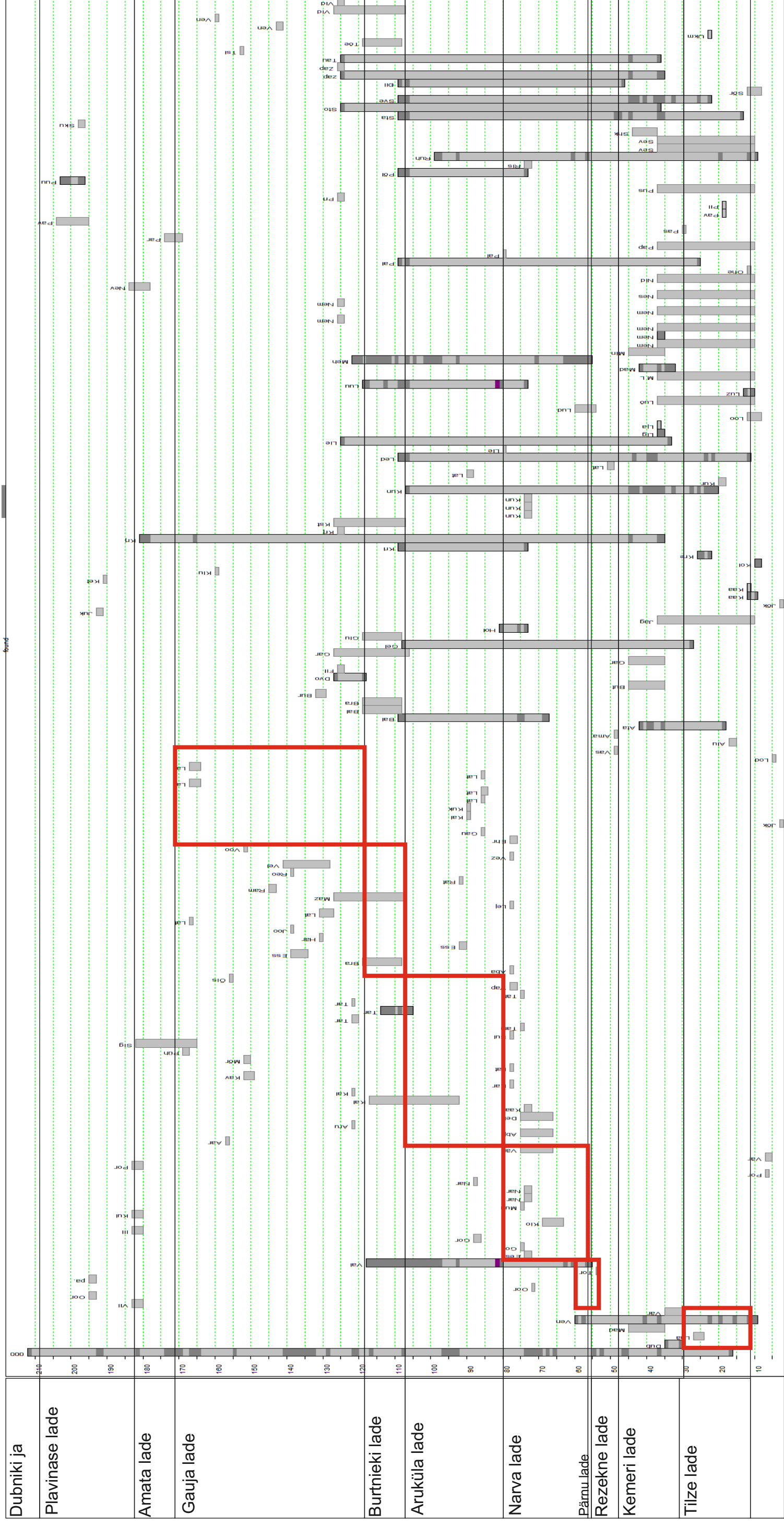
mille juhendaja on prof. Tõnu Meidla

- 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **20.05.2016**

BL leiu kohtade kronostratigraafia



Balti Devon no genus: 13-APR-16

Lisa 5: BL töötuse järgi esitatud paljandite korrelatsioon, kus punastekastitega on tähistatud teadaolevate lademe leiukohtade stratigraafiline intervall SARV andmebaasides esinevate andmete järgi.